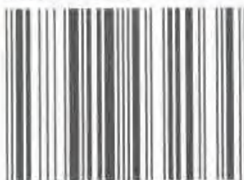

杰出交大人丛书
钱学森
人民科学家
涂元季 著
上海交通大学出版社
16

人民科学家 钱学森

ISBN 7-313-03203-x



ISBN 7-313-03203-X/k·016
定价：28.00元



K826.16
T910

杰出交大人丛书

钱学森

人民科学家

涂元季 著

627245

杰出交大人丛书

人民科学家钱学森

涂元季　著

上海交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

人民科学家钱学森 / 涂元季著. -上海:上海交通大学出版社,2002(2003 重印)

ISBN 7-313-03203-X

Ⅰ. 人… Ⅱ.涂… Ⅲ. 钱学森 - 传记
Ⅳ. K826.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083750 号

人民科学家钱学森

涂元季　著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号　邮政编码 200030)

电话:64071208　出版人:张天蔚

太仓市印刷厂有限公司印刷　全国新华书店经销

开本:787mm×960mm　1/16　印张:15　插页:16　字数:464 千字

2002 年 12 月第 1 版　2003 年 10 月第 2 次印刷

印数:3051—8100

ISBN 7-313-03203-X/K·016　定价: 28.00 元

版权所有　侵权必究



毛泽东主席与钱学森（1956 年 2 月）

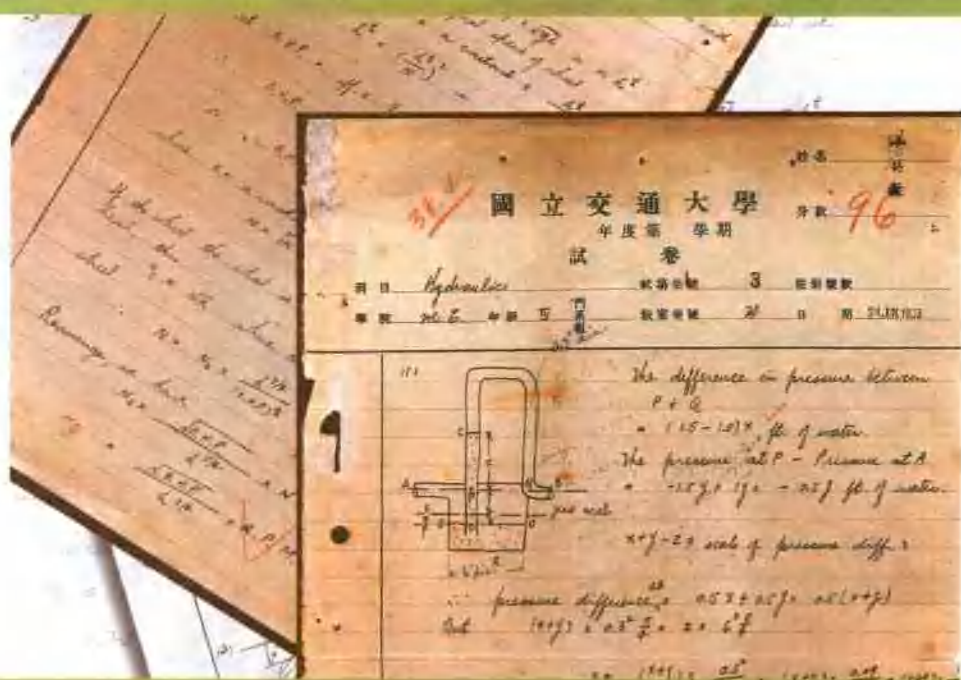


邓小平同志与钱学森（1989 年 10 月）



江泽民主席与钱学森（1996年12月）

樊如钧摄


國立交通大學

年度第 學期

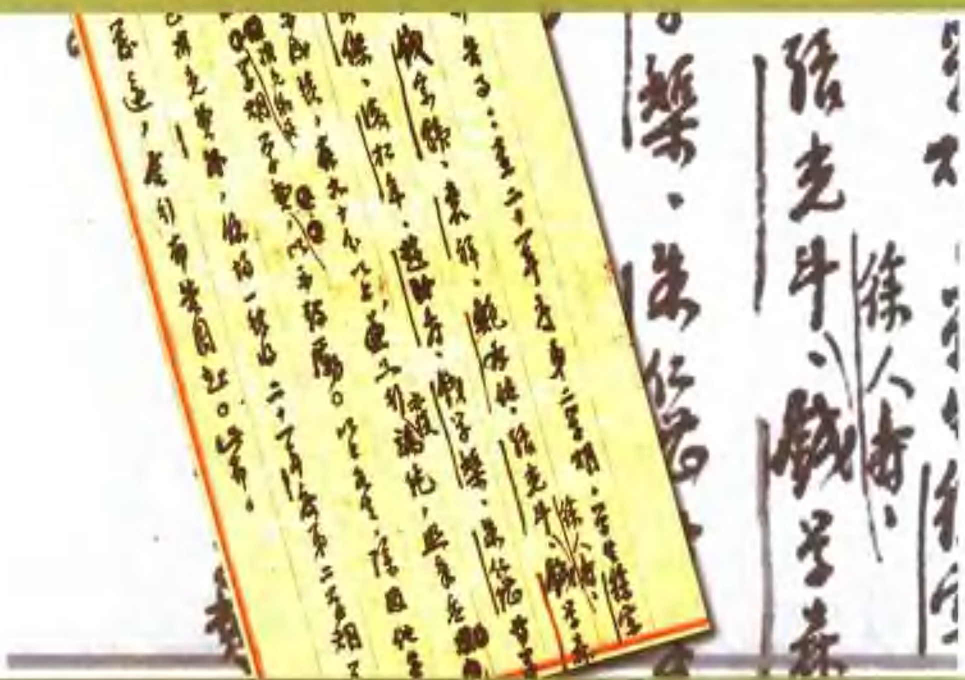
試卷

科目 Hydraulics

分數 96

The difference in pressure between P & Q

钱学森在交通大学水力学考试试卷（1933年）



交通大学 1932 年布告第 1255 号：本年度第二学期学习成绩在 90 分以上，免交学期学费奖励名单

交通大学铜管乐队（前排左1是钱学森）



钱学森交通大学毕业并获学士学位（1934年）



钱学森在加州理工学院给研究生讲课：
关于远程商用火箭作洲际飞行问题
（时间大约在20世纪40年代末）



钱学森在美国加州理工学院获
博士学位（1939年）

附件二

叔通太老师先生：

自一九四七年九月拜别后未通音信，然自报章期刊上见到老先生为人民服务及努力的精神，使我们感动佩服！学森数年前认识错误，以致被美政府拘留，今已五年。无一日、一时、一刻不思归国参加伟大的建设高潮。现在世界情势上有更重要更迫急的问题等待解决，学森等个人们的处境是不能用来诉苦的。学森这几年中唯以在可能范围内努力思考学问，以备他日归国之用。

但是现在报纸上说中美有交换被拘留人之可能，而美方又说谎谓中国学生愿回国者皆已放回，我们不免焦急。我政府千万不可信他们的谎言，学森寡陋，而有多少同胞，欲归不得者。从学森可知者，就有郭永怀一家，其他我们不知道确实姓名。这些人不回来，美国人是不能释放的。当然我政府是明白的，美政府的说谎是骗不了的。然我们在长期等待解放，心急如火，惟恐错过机会，请老先生原谅，请政府原谅！附上纽约时报旧闻一节，为学森五年来在美之处境。

无限期望中祝

康健

钱学森谨上

一九五五年六月十五日



钱学森为争取回国给陈叔通的信（1955年）



钱学森一家在归国的克莱弗兰总统号船上（1955年）



钱学森一家在北京中关村科学院宿舍安家（1956年）



钱学森在中国科学院力学研究所办公室办公（1956年钱学森所著《工程控制论》一书获“自然科学一等奖”后拍摄）



1966 年钱学森在基地协助聂荣臻主持两弹结合飞行爆炸试验



钱学森与侯宝林（1975年元月）



1991年钱学森荣获“国家杰出贡献科学家”荣誉称号（左边是钱老的夫人蒋英教授）邹毅拍摄



1999年钱学森荣获“两弹一星功勋奖章”。这是授奖大会后全国政协副主席、著名核物理学家朱光亚（左二）、中央军委委员、总装备部部长曹刚川上将（右一）、总装备部政委李继耐上将（左一）在钱学森家，将“两弹一星功勋奖章”及获奖证书呈交钱老（右二是钱老的夫人、著名声乐教育家蒋英教授）张桐胜摄



钱学森与本书作者

序

上海交通大学将校史研究纳入学校文化建设工程和校园精神文明的一部分，组织专门力量开展工作，出版一系列研究丛书，我看这是一件十分有意义的工作。江泽民同志在十六大报告中强调说："全面建设小康社会，必须大力发展社会主义文化，建设社会主义精神文明。"高等学校是培养人才的摇篮和基地，是传承科学与文化的桥梁和窗口，是推动经济和社会发展的源头。新世纪的上海交大要实现更高更快的飞跃，必须提炼交大的人文精神，发展交大的先进文化，造就新一代杰出的交大人。

交通大学是一所中国人自己创办的新式高等学府。学校自创办之日起，即高扬"自强求富"的旗帜，将学校的命运与国家、民族的命运紧紧地联系在一起。百余年来，在曲折中发展，在困境中拼搏，为国家和民族的振兴、社会的进步、科技的发展做出了巨大的贡献。交通大学为国家培养了大批人才，蔡锷、黄炎培、邵力子、邹韬奋、茅以升、陆定一、钱学森、王安、吴文俊、江泽民等先后曾在交大就读；新中国成立后更是人才辈出。在我国各条战线上都能感受到交大人的辛勤劳动和踏实工作。

希望上海交大积极推进此项工程，以形成校史、专题史、《杰出交大人》丛书等系列研究成



果，通过深挖丰富的历史资源，来探索中国高等学校教学、科研、师资建设、人才培养等方面的发展规律；通过记载杰出校友的求学道路和人生经历，使他们的业绩和精神成为学校丰富的人文资源，教育熏陶世代学子。进而总结出上海交大百年办学经验和特色，提炼出交大的价值、文化和传统，为学校创建世界一流大学营造良好的人文环境和文化基础，为面临着世界经济和高科技挑战的中国高等教育在新世纪的繁荣与发展作出贡献。

汪道涵

前　　言

这本名为《人民科学家钱学森》的小册子，并不是一本钱学森传记。我虽跟随钱老工作、生活了 20 年，手头也积累了不少有关资料和素材，但一直不敢动手写《钱学森传》。有不少出版社来预约书稿，我也始终不敢应承，这有两个方面的原因。

其一是钱老本人不同意为他写传，也不向我们提供任何作传的素材。他曾对我说："我这个人从不考虑过去，只思考未来。过去的事过去就算了，我也记不得了，所以我无法向你提供什么材料。"他坦荡地认为，是非功过，自有后人评说，用不着自己操那份心。

其次，即便钱老今天同意，我也不敢轻易下笔。因为我认为写传是一项严肃的工作，不做好充分准备，对传主没有深刻的研究是写不好传记的，尤其写不好一位伟大科学家的传记。我在钱老身边这么多年，深知钱学森的学识博大精深，品德高尚，智慧超群，他的思想境界达到了一般人难以想象的高度。你若没有深人地钻研进去，基本上搞懂那些深奥的科学问题，甚至使自己也进人他那种境界，是很难理解他那非同一般的思想和性格特点，说出他那些一语道破，人木三分的语言，写出一个真正的钱学森的。



然而，钱学森的一生，又经历曲折，成就卓著，很富于传奇性和故事性，所以，写"钱学森"就成为一个社会热点。电影人想拍钱学森的电影片、电视片；记者、作家们想写"钱学森"，这是可以理解的。但是我认为，那些远距离"创作"出来的"钱学森"，距离真实的钱学森都相差甚远。

2001 年 12 月 11 日是钱老 90 大寿，江泽民总书记又作了重要批示："我们应该向人民科学家钱学森同志学习"。为了贯彻落实江总书记的批示，我将自己过去所写的有关钱老的文字汇集起来，编成这本《人民科学家钱学森》的小册子，供年轻学子们学习时参考。

构成这本小册子的主要材料"人民科学家钱学森"，是我为《中共党史人物传》所写的"钱学森传"初稿，约 11 万字，而那个传记最后定稿时按要求只剩下 6 万多字了。这是上级下达的任务，钱老本人不得不表示同意。他在我受理此项任务时，作了以下原则性谈话，他说："我一向对写传记之类的东西持消极态度。既然这是上面的任务，只好拜托你去完成。但我想，写传不是为写传而写传，更不能为个人歌功颂德去写传。而是要通过写传反映一个时代，反映我们党在那个时代的科学技术成就；总结过去的经验教训，指导以后的工作。所以，第一，要实事求是；第二千万不要写出矛盾来了，我绝不和任何人争功劳。特别是关于我们国家'两弹一星'的成就，

我过去多次讲过，一切成就归于党，归于集体，我本人只是恰逢其时，做了我该做的工作，仅此而已。这就是我的观点，是实事求是的观点，你要按照这个观点去写。"

为了完成这项任务，我除了查阅资料，走访一些当事人之外，最重要的依据是钱老的工作日记，他有 60 多本《工作手册》存放在保险柜里。他是一位严谨的科学家，在繁忙的工作之余，几乎天天写工作日记。这是一笔宝贵的财富，内容涉及他对当时自己主管工作中的各种问题的看法。我是在对这些材料进行了初步学习、消化之后，才写出了这 11 万字的"钱学森"的。这次应上海交通大学出版社约稿的要求，我又对此传稿进行了补充，增至约 13 万字。至于本册子中的其他文章，只是本人这些年来在某一个侧面对钱老的感受和体会(其中有两篇文章是本书作者与别人合写并联名发表的)。它具有近距离的直观性、真实性，有的地方还有点生动性、可读性，却远未达到全面性和深刻性。有几篇文章中选用的实例，由于都是写一个人，必然会有重复。为保留文字的历史原貌，和顾及文章的完整，也就不作删削了。我希望在有生之年能奉献给广大读者一个客观的、真实的和比较全面深刻的"钱学森"。为了完成这项艰巨的任务，我诚恳地希望读过这本小册子而又熟悉情况的读者，能对此书提出补充、修改，甚至批评、指正意见。



附带说明,钱老成就这么卓著,人品这样高尚,他把自己全部的精力和智慧,包括个人所得,都奉献给了他的祖国和人民。他之所以能够如此,除了自身的因素以外,也与钱老有一个非常和谐美满和温馨的家庭有关。特别是钱老的夫人蒋英教授,她也是一位人品高尚,成就卓著的声乐教授。她体贴关心钱老的生活,全力支持钱老的事业,毫无保留地赞同钱老的义举,也为我们国家和人民作出了无私奉献。为此,在征得作者和蒋英教授同意后,本文集也收入了两篇有关蒋英同志的文章,供读者学习时参考。同时我要说明,钱老的夫人蒋英教授和儿子钱永刚高工对我写"钱学森"曾给予大力帮助。也是由于他们的支持,本书选用了一些有关钱老的珍贵照片,除近年的照片以外,早年的照片由谁拍摄,已无从查明,谨此致歉。

涂元季

2002年9月6日



目 录

人民科学家钱学森

钱学森是我国著名科学家。他早年在空气动力学、航空工程、喷气推进、工程控制论等技术科学领域做出过许多开创性的贡献。1955年9月，在毛泽东、周恩来等老一辈无产阶级革命家的关怀下，他冲破重重阻力，离开美国，回到社会主义祖国。1959年8月，他光荣地加入了中国共产党。数十年来，他以对祖国、对人民的无限热爱和忠诚，满腔热忱地投身于我国国防科技事业，为我国火箭、导弹和航天事业的创建与发展做出了卓越的贡献。他潜心研究的工程控制论，发展成为系统工程理论，并广泛地运用于军事运筹、工业、农业，乃至整个社会经济各个领域的实践活动，在我国现代化建设中发挥了重要作用。他一贯努力学习马克思列宁主义、毛泽东思想和邓小平理论，坚持运用马克思主义哲学理论指导科学活动。他热爱中国共产党，热爱社会主义祖国，热爱人民，充分体现了新中国知识分子的高尚品德，他是我国爱国知识分子的杰出典范，是人民科学家。

一

钱学森，祖籍杭州，1911年12月11日出生于上海。是独生子，属五代十国时期吴越国国王钱镠之后。钱王把江浙一带治理得较好，后来，继承王位的孙子钱俶，又归顺了宋朝，对祖国统一作出了贡献。后人在杭州修建了“钱王祠”，以示纪念。

钱学森的父亲钱均夫（名家治）是浙江杭州一个没落丝商的次子，乃书香门第。青少年时代就学于当时主张“维新”的杭州“求是书院”（即后来的浙江大学），成年后到日本留学教育和地理、历史。母亲章兰娟是杭州有名富商的女儿，乃大家闺秀，知书达理。钱学森的外祖父并不看重钱均夫的家境，而是欣赏他的才华，把自己的女儿许配给他。

民国成立后，钱均夫就职北京当时的教育部，任中小学科科长。钱学森



3 岁时随父母进京。在他牙牙学语时,就长得聪慧可爱。母亲教他背诵古诗词,从"春游芳草地",直到唐诗宋词,他一学就会。家里来了宾客,让他背首诗词是常有的"节目",而钱学森的"表演"总能让客人们惊叹不已,称赞小小年纪的钱学森"前途未可限量"。

钱学森的父亲是一位谦躬自守、博学多才而又思想开通的人,且懂得近代教育,所以他不让钱学森读私塾,而是要他接受当时最好的近代正规教育。到北京后他上过蒙养院(幼儿园),女师大附小(今北京市第二实验小学)、师大附小(今北京市第一实验小学)和师大附中。北京师大附小和北京师大附中在那时都是办学思想十分先进的学校。钱学森在师大附小读书时,邓颖超也在那里任教。几十年后相见,钱学森依稀记得,当年那位演讲讲得很好的女先生,就是今天他所敬重的邓大姐,而邓颖超也记起了她的这位学生。二人遂以师生相称,十分亲切。

当时北京师大附中的高中就实行文、理分科,钱学森读理科。他后来认为师大附中的教育对他日后的成长有重大影响,是他一生之中难忘的一段经历。钱学森曾回忆说,师大附中的校长林砺儒先生(当时称主任,解放后曾任教育部副部长),制定了一套以启发学生兴趣和智力为目标的教学方案,很有成效。学生们平时都很自觉,该学习的时间专心学习,该玩的时间就尽情玩耍,从不在临考前加班突击。钱学森每次考试虽名列前茅,但并不刻意追求满分。能考 80 分以上的就是好学生,但这 80 分是真正学到的、扎扎实实的知识,什么时候考试,都能考出这样的成绩。

化学老师王鹤清,让钱学森自由地到化学实验室做各种实验,这启发了他对科学的兴趣。国文老师董鲁安,在课堂上除了讲授语文知识以外,还常常用较长时间讨论时事,表示厌恶北洋军阀政府,憧憬国民革命军北上(后来他改名于力,去了解放区,解放后是北京市优秀教师)。他的教育使钱学森产生对旧社会腐败的深切不满和对祖国前途、人民命运的无比关心。几何老师傅种孙那时已是北京师范大学数学讲师,在中学课堂上把道理讲得很透。钱学森后来认为,在中学听傅老师的几何课,使他第一次得知什么是严谨的科学(解放后,傅种孙曾任北京师范大学副校长)。而生物老师俞谟(新中国成立后改名俞君适,是江西南昌大学生物系教授)常常带他们到野外采集生物样品,制作生物标本。他培养了钱学森较为广泛的科学兴趣。



钱学森对老师们的教诲感激不尽,他后来说:"我能为国家为人民做点事,也是与中小学老师的教育分不开的!"

师大附中的课余活动也是丰富多彩、生动活泼的。作完功课,同学们总是在一起玩耍,做各种游戏。他们常玩的一种游戏是投飞镖。用纸叠成飞镖,然后比赛谁的飞镖投得远,飞得高。钱学森每次叠的飞镖都投得最远。后来他在航空和火箭导弹事业上取得重大成就,老同学们回忆起少年的时光,说他从小就颇具"航空航天"的才能。

午餐后同学们常聚在一起"神聊",天南海北无所不"吹"。一次一位同学说他知道现在世界上有两位了不得的大师,一位是革命大师列宁,一位是科学大师爱因斯坦。钱学森听得入了迷,定要找到有关他们的书来读,想知道这两位大师是怎么回事。无奈,有关列宁的书在当时属于禁书,他自然是找不到的。但他终于在学校图书馆里找到一本讲相对论的小册子。作为中学生的钱学森,虽不大读得懂,但这本书却激起了他对科学的极大兴趣。十几年后,他在美国加州理工学院攻读航空、数学博士学位时,终于选修了相对论和量子力学,一方面了却了少年时代的求知欲望,另一方面又为他后来的科研工作打下了雄厚的理论基础。时间又过去 30 年,到了 20 世纪 60 年代末,中国"文化大革命"的极左思潮席卷全国时,中国科学院有人写"大字报",批判相对论,声称要打倒世界上"最大的科学权威"爱因斯坦。周恩来总理听说此事以后,曾征求钱学森的意见。他实言相告总理,相对论是科学的理论,不同学术观点可以讨论,但乱批是要闹笑话的。爱因斯坦是世界公认的科学大师,而且他思想进步,积极投身世界和平运动,反对战争,是我们的朋友。尽管他已过世,也不能随便提"打倒"的口号。周总理立即制止了这场批判运动。

钱学森在说这个话时,他自然不知道,20 世纪 50 年代初,当他在美国遭遇麦卡锡主义迫害时,爱因斯坦也受到联邦调查局的严密监控,这一秘密档案直到人类迈入 21 世纪才曝光于世。

小学时代的钱学森也是一个淘气好动的孩子。他每天坐"洋包车"上学,在车上总不安分,左动右晃,甚至干脆面朝后趴在车上,偶尔向过路行人做个"怪脸",逗得别人哑然而笑。

然而,钱学森的父亲对年幼儿子的管教却十分严格而又得法,从小培养



他良好的学习和生活习惯。每天按时起床就寝，按时复习功课和休息。出门上学一定要衣着整洁，书包整理得井井有条。回家后衣帽、鞋袜、书包放在什么地方，都有一定规矩，不能乱来。这对钱学森后来在科学事业上严谨仔细、井井有条、一丝不苟作风的形成是有一定影响的。

钱学森兴趣广泛，知识渊博，也得益于他父亲从小的启蒙培养。每逢寒暑假，钱均夫都要送儿子拜名师补习各种功课。他那时业余学习过伦理学、矿物学、音乐、绘画等等。

钱均夫让儿子拜林砺儒学习伦理学。他带钱学森到林校长家，林先生出了几道题，让钱学森在另一间屋里考试，钱均夫则和林砺儒在客厅喝茶聊天。过了一会儿，钱均夫说去看看儿子考得怎么样了。当他走进小院时，却看见钱学森正在和别的孩子玩得起劲。钱老先生有点生气，责问儿子为什么不好好考试。钱学森争辩说："我早就答完了，试卷就放在桌子上。"钱均夫把卷子拿给林砺儒判阅，林老先生则对钱学森大加赞扬，当即收录了这名学生。钱学森晚年曾说："现在回想起来，林砺儒的课讲得好极了，他完全是从唯物史观来讲伦理学的。"

少年时代的钱学森有时也很贪玩，父亲并不为此责怪儿子，而是因势利导地对他说："你不是贪玩吗，那好，你再去拜一位矿物学老师，让他带你到野外游玩并采集矿石，好不好？"钱学森自然十分高兴，父亲的这一举措使他既玩得开心，又增长了知识。

钱学森从小就爱画画儿，于是钱均夫又送他去向美术老师高希舜学画国画。高希舜可不是一位普通老师，他后来成为我国国画大师，还是毛主席的朋友。钱学森学得认真，又很有作画的天分，有几幅画作曾得到高老师的夸奖，他自己也很得意。钱均夫将儿子的画裱好，或赠亲朋好友，或挂在杭州老家的客厅里。可惜抗日战争时期，杭州沦陷，那几幅画也没了踪影。

钱学森不是画家，他对自己青少年时代的"创作"被丢失也并不在意。但是，他的一位远亲钱学文老先生说，他曾在香港一位朋友家看到钱学森作的画，他想高价购买，但画主人认为那是无价之宝，拒绝出售。

钱学森就是在这么优越的条件下一步步长大的。他不是那种"少年天才"，既没跳过班，也没越过级。但他从小就兴趣广泛，聪慧好学，又爱博览群书。这使他后来不仅在自然科学技术，而且在社会科学甚至文学艺术等

方面都有很高的修养。这些知识同时又启迪了他在科学上的创新。

1929 年中学毕业后，钱学森为复兴祖国，决心学工科，考入上海的交通大学机械工程系，名次第三。他清楚地记得，第一名叫钱钟韩，后来曾担任南京理工大学名誉校长；第二名是俞调梅，后任同济大学教授。

钱学森说，他在交通大学第一年基本上是玩过去的，因为所学功课的大部分，如伦理学、解析几何、微积分、大代数、非欧几里得几何、有机化学、工业化学和第二外语德语等等，在师大附中时都学习过了。

然而当时交通大学对学生要求十分严格，而且非常重视考试分数，学期终了平均分数计算到小数点以后两位数。

钱学森开始对分数并不在意，入学后的第一年成绩也不算最好。但他很快发现，这里的情况与师大附中不同，大家都为分数而奋斗。那时交大的多数学生分成"北京师大附中派"和"江苏扬州中学派"，都是出类拔萃的尖子，在学习成绩上互相竞赛，各不相让。犹如划船比赛一样，这次"北京派"领先，下次"扬州派"一定要得胜。钱学森对这里的"分数战"虽不甚满意，但也不甘落后，非考 90 分以上不可，所以到二年级，他的成绩就直线上升。

钱学森的考卷总是书写工整，清洁漂亮，连等号(＝)都像用直尺画的一样，中英文字写得秀丽而端庄，深得各科老师的赞赏。一次水力学考试，所有试题钱学森全部正确完成，老师都打了对勾(√)。试卷发下来，他发现有一个不起眼的笔误(在运算的一个步骤中，将"Ns"写成了"N")，老师判卷时未注意到。他立即举手发言，指出自己的错误，并把考卷退给老师。交大当时判卷打分非常严格，老师为这一小错扣了他 4 分。于是这份 96 分的水力学考卷被留在了学校老师那里，并保存下来。不曾想几十年后，钱学森成为世界著名科学家，这份考卷也成了学校的一份珍贵历史档案，1996 年在上海交通大学的百年庆典上展示出来。钱学森从小具有的这种实事求是，严格认真的科学态度，在交通大学一直传为佳话，并成为交大教育学生的典型事例。

钱学森在大学念书时还十分重视实验课。他做实验特别认真仔细，有一次做热工实验，他的实验报告完整、详尽，书写和作图制表也都很清晰，整个实验报告长达 100 多页，详细记载了他在实验中观察到的各种现象的细节，且具有创见。热工实验老师陈石英阅后非常惊叹，给了他满分 100 分，



成为交通大学机械系学生历史上最佳的实验报告。

1930 年暑假后期，钱学森得了伤寒病，在杭州家里卧病一月有余，后因体弱休学一年。在这一年里，他第一次接触到科学社会主义。

钱学森爱好美术，在书店里买了一本讲艺术史的书，不料这本书是一位匈牙利社会科学家用唯物史观的论点写的。他从未想到对艺术还可以进行科学分析，所以对这一理论发生了莫大的兴趣。接着他读了马克思的《资本论》、普列汉诺夫的艺术论、布哈林的唯物论等书，又看了一些西洋哲学史，也看了胡适的《中国哲学史大纲》(上册)。

读了这么多书，他感到只有唯物史观和辩证唯物主义才是有道理的，唯心主义等等没有道理；经济学也是马克思讲的有道理，而资产阶级那一套经济学理论，则不能自圆其说。所以，钱学森认为，休学一年对他也有好处。由于有时间读正反两方面的社会科学书籍，人生观上升了，对国民党政府的统治也有所认识。

于是当钱学森再回到学校读二年级时，他对每星期一上午的"纪念周"活动就想逃避，不愿"恭听"校长黎照寰的"训词"。正好这时同级的好友林津(也是北京师大附中来的)动员他加入学校的铜管乐队，说是在"纪念周"开始时，乐队伴奏唱"党歌"后就可以退席，不听校长的"训词"了。于是他欣然从命，学吹中音喇叭，成为学校铜管乐队的一名成员。

钱学森从小做任何事情都很认真。为了吹好乐器，他甚至花钱买票去上海大剧院听交响乐。在旧上海，听这种高雅音乐的都是些洋人和西服革履的绅士及太太、小姐们。当这位个子不高，身着旧学生装的年轻人夹在他们中间，走向音乐大厅时，人们都以异样的目光看着他。门卫甚至把他拦住，问他来干什么的。他没有答理，仅仅出示自己的票。

在这期间，钱学森也开始接触到共产党的外围组织，参加过多次小型讨论会，从那里他知道了红军和解放区的存在。小组的领导人乔魁贤，是当时交大数学系的学生，小组里还有许邦和、袁轶群和褚应璜等。后来乔魁贤被学校开除。钱学森和小组的联系也逐渐中断，仍埋头读书，每学期平均分数都超过 90 分，因面得到免交学费的奖励。

1934 年暑假，钱学森从交通大学机械工程系铁道机械工程专业毕业。尚未派定工作，就考取了清华大学公费留学，专业是飞机设计。两位导师一



位是王助,另一位是王士倬。王助是我国早年的航空工程师,曾在美国参加设计第一架波音飞机,并设计制造了中国第一代飞机。他教导钱学森重视工程技术实践和制造工艺问题。王士倬是清华大学教授。依照清华关于留美学生的规定,钱学森在1934～1935年到杭州笕桥飞机厂实习,又到南京、南昌空军飞机修理厂见习,最后到北平参观清华大学并拜访导师王士倬。钱学森这次来北平,看到这座古都在没落,内心颇有感触。

1935年8月,钱学森从上海坐美国邮船公司的船离国,同船的留美同学有徐芝纶、夏勤铎等。几十年后,钱学森的岳母蒋左梅老太太对她的外孙说:"当年你爸爸出国我去送过,一大帮学生,穿着都差不多。你爸爸个子不高,一点也不显眼,真看不出他十几年后会成为大科学家。"钱学森为什么会在这批优秀的留学生中脱颖而出,成为一名大科学家?这与他到美国后遇到一位恩师冯·卡门有很大关系,这是后话,暂且不提。

这位不显眼的学生当时的心情是:中国混乱,豺狼当道,暂时到美国去学些技术,他日回来为国效劳。

到了美国入麻省理工学院(MIT)航空系。钱学森这才发现,他的母校——交通大学完全是按照当时的麻省理工学院的模式办的,连教学和实验大纲都一样。所以钱学森对这里的学习环境一点也不感到生疏,学习起来游刃有余。

但生活上他却有些不习惯,特别是某些美国人瞧不起中国人的傲慢态度令他生气。钱学森晚年回忆说:"我年轻时也争强好胜,在麻省理工学院读书时,一个美国学生当着我的面耻笑中国人抽鸦片、裹脚、不讲卫生、愚昧无知等等,我听了很生气,立即向他挑战说,我们中国作为一个国家,是比你们美国落后;但作为个人,你们谁敢和我比,到学期末了,看谁的成绩好?"美国学生知道他学习好,听了都伸舌头,再也不敢当面蔑视中国人了。

钱学森就是这样怀着一颗强烈的民族自尊心和自信心,憋着一口气在麻省理工学院学习的。经过努力,他只用一年时间,就拿下了航空硕士学位,而且成绩不但比美国学生好,还比同班的其他外国人都好。一次有位教授出了一道很复杂的动力学题,大家都做不出来。一位中国留学生叶玄去请教钱学森,他做了一个巧妙的转换,便将这一复杂运算变成了一个简单的代数问题,此题便迎刃而解了。叶玄后来留在美国做科研工作,是台湾中央



研究院的外籍院士。1989 年叶玄先生回国，再次见到钱学森时，问他当时怎么想得那么巧："这么复杂的运算，到您手里就变得那么简单了?"钱学森淡然一笑说："那算不得什么，小技巧而已"。

另一次，有位教授出了一份很难的考卷，都是些偏题、怪题，全班大部分人做不出来，考试成绩不及格。这在学生中引起了很大的不满，大家认为这样的考试对他们是不公平的，这位教授在有意使他们难堪。经过讨论和酝酿，一部分学生决定去找教授说理。钱学森静静地坐在一旁，对于他们的讨论则不屑一顾。当学生们来到教授的办公室门口时，却发现钱学森的试卷贴在门上。卷面用钢笔书写得工整清洁，每一道题都完成了，而且没有任何错误，没有任何圈改和涂抹的痕迹，显然是一气呵成的。前来评理的学生绝没有想到这么难的考题居然没把钱学森难倒，更没想到教授使出这么一个高招儿来对付他们，于是大家一下子泄了气，不敢再去找教授了。

首战得胜，使得初出国门的年轻学子钱学森为自己取得的成绩感到欣慰，他更为自己作为一名中国人而感到自豪。

因为学工程一定要到工厂去实习，而当时美国的航空工厂普遍不欢迎中国人，所以，他硕士毕业后继续深造航空工程面临困难。另一方面，钱学森内心的一个更深层的考虑是，他并不满足于只做一名工程师，还希望学到高深的理论知识，站到科学的最前沿，成为一名既有雄厚理论基础的科学家，又有丰富实践经验的工程师。麻省理工学院当时的培养目标就是工程师，这不能满足他的要求。所以一年后，他开始转向航空工程理论，即应用力学的学习。于是他决定追随当时在加州理工学院(CIT)的世界著名力学大师冯·卡门(von Kármán)教授。

1936 年 10 月，钱学森转学来到加州理工学院。加州理工学院位于美国西海岸阳光明媚的加利福尼亚州南部的帕萨迪纳市(Pasadena)，城市西部坐落着华丽的地中海式建筑，白墙红瓦，玫瑰飘香，棕榈成行，是一座规模不大的著名的疗养胜地和文化名城。

钱学森来到校园，首先拜访冯·卡门教授。他们的会面时间很短，但给敏锐的卡门留下了深刻的印象。卡门晚年在他的回忆录中这样写道："1936 年的一天，他到我这里来，就将来的深造问题请我指点，这是我们第一次见面。这个年轻人个子不高，带着认真的神情，回答我的问题时精确得非同寻

常。我立刻被他的聪慧和敏捷打动了，于是建议他到加州理工学院进修。”从此钱学森开始了与冯·卡门教授先是师生后是亲密合作者的情谊。冯·卡门教授教给钱学森从工程实践中提取理论研究对象的原则，也教给他如何把理论应用到工程实践中去的方法。冯·卡门是一位科学大师和科技帅才，钱学森从他那里还学到了如何从大处和高处着眼，分析问题、提炼观点的能力。冯·卡门还有很强的组织活动能力，会与各方面的人打交道。钱学森虽书卷气十足，但长期在他手下工作，也练就了一手组织协调能力。这些本事在他后来组织领导我国导弹航天事业中都派上了用场。

冯·卡门原在德国哥廷根(Göttingen)大学执教，他来美国，把欧洲哥廷根学派的良好学风带到了美国。他每周主持召开一次研究讨论会(research conference)和一次学术研讨会(seminar)。这些活动强调学术民主，不论是专家权威，还是普通的研究生，大家一律平等，都能畅所欲言，发表自己的学术论点。这给年轻的钱学森提供了锻炼创造性思维的良好机会。在一次学术讨论会上，钱学森刚刚念完自己的论文，就有一位长者站起来提出不同意见。钱学森不同意他的观点，两人一时争论起来，面红耳赤。事后冯·卡门问钱学森：“你知道你是在和谁争论吗？那是大权威冯·米赛斯(von Mises)。但是，你听到了我的总结讲话，我认为你的意见是对的，我支持你。”

在另一次学术讨论中，钱学森却和他的老师冯·卡门发生了争论。他坚持自己的观点，毫不退让，令冯·卡门十分生气，他把钱学森拿给他看的论文稿往地上一丢，拂袖而去。老师走后，钱学森默默拾起稿纸，但他内心并未屈服，在科学问题上，他没弄明白之前，绝不会轻易放弃自己的观点。然而事后这位世界大权威经过思考，认识到在那个问题上，他的学生是对的。于是第二天一上班，他便亲自爬了三层楼梯，来到位于三层楼一个旮旯的钱学森小小的办公室，敲开门，恭恭敬敬给钱学森行个礼，然后说：“钱，昨天的争论你是对的，我错了。”

冯·卡门的博大胸怀令钱学森十分感动，并终生不忘。他在回到祖国以后，曾倡导过各种学术研讨会，还力图把冯·卡门的学风也带回来，自己以身作则，并多次以冯·米赛斯和冯·卡门的例子教育中国学者。他总是不厌其烦地强调在学术讨论中一定要发扬民主，大家一律平等，即使是专家



权威,也要虚心听取年轻人的意见。钱学森说的这些话,绝不仅仅是挂在嘴上,专门说给别人听的,他自己就是这种民主学风的典范。当他自己成为大权威以后,也和他的老师一样虚怀若谷。

1964 年,一位远在新疆建设兵团农学院的年轻人郝天护给钱学森写了一封信,对他新近发表的一篇力学论文中的一处错误,提出了自己纠正的意见。信发出后,郝天护一直惴惴不安,不知这位世界力学权威会有什么想法。然而,出乎他意料的是,不几天他收到了钱学森的亲笔回信,信中写道:"我很感谢,您指出我的错误!也可见您是很能钻研的一位青年。科学文章中的错误必须及时阐明,以免后来的工作者误用不正确的东西而耽误事。所以我认为,您应该把您的意见写成一篇几百字的短文,投《力学学报》刊登,帮助大家。您认为怎样?"在钱学森的积极鼓励之下,郝天护将自己的观点写成文章:"关于土动力学基本方程的一个问题",由钱学森推荐,发表在 1966 年 3 月第 9 卷 1 期《力学学报》上。在钱学森的鼓励之下,郝天护投身力学事业,后来成为东华大学教授。

在领导我国导弹航天事业中,他将这种学术民主进一步发展成技术民主,在技术工作中真正贯彻民主集中制的原则,这已成为我国导弹航天事业取得成就的一条重要经验。

钱学森在加州理工学院从第一个学期开始,便表现出令人吃惊的才华。他不仅学习航空知识,而且选修物理、化学和数学等广泛的基础理论课程。他学习勤奋,成绩优异,在课堂上和学术研讨会上总能机敏地提出一些深刻而又复杂的问题,他的表现既让师颜大悦,又让其他同学感到困惑不解。卡门曾经回忆说:"我记得物理系的大理论家保罗·S·爱泼斯坦(Epstein)教授有一次对我说:'你的学生钱学森在我的一个班上听量子力学、相对论等选修课,很出色'。

'是啊,他不错',我回答说。

'告诉我',爱泼斯坦挤挤眼睛说,'您觉得他是不是有犹太血统'"。

显然,在爱泼斯坦的心目中,只有犹太学生才是最勤奋、最聪明的。

然而,另一位犹太学生的回忆,却否定了爱泼斯坦的看法。他说:"有一天——那是一个假日,感恩节或圣诞节,我去教室复习功课,以为那里只有我一个人,便把收音机的声音开得很响。不一会儿,隔壁的墙上传来重重的



敲击声。我关掉收音机,走过去一看,钱学森早已在那里用功了。我这才知道,原来中国学生比犹太学生更勤奋、更刻苦。"钱学森的优异成绩是用勤奋和刻苦换来的。

冯·卡门对钱学森的要求十分严格,他在加州理工学院的博士研究生读了三年,十分艰苦。当他读到第二年时,中国政府停止了对他的资助,几乎使他无法继续读下去。他曾想草草将博士论文工作结束。当冯·卡门知道这个情况以后,立即向他表示:"你应该认真将博士论文工作做下去,你的学习和生活费用由我承担。"由于这位恩师的资助,钱学森才得以顺利完成他的学业。

钱学森的博士论文工作是在 1939 年 6 月结束的。这一年他已经 28 岁了,可以说是大器晚成。因为他的博士论文的第一篇文章,即"可压缩流体边界层问题"就改变了人们的一个长期观念:认为飞行体周围的空气是"冷的"。他指出,在高速飞行的情况下,由于摩擦作用,周围的空气对飞行器起"加热"的作用。这就是后来人们所说的"热障"。钱学森得出这样一个结论可是来之不易。我们从他的论文手稿中看到,他的导师冯·卡门给他的指导是,建议他采用 Mises 变换,然后从数学上对不可压缩的解进行迭代。依照钱学森的数学水平,他可以轻而易举地完成老师交给的任务。但他没有走捷径,而是首先系统地查阅前人的文献,阅读文献的笔记就写了 450 页,并改正了前人许多不足之处,然后才整理自己的论文。

钱学森博士论文的第二篇文章,即"可压缩流体的二维亚声速流动",这就是著名的"卡门-钱公式"。由于这一成果,使他一跃成为世界著名的空气动力学家。于是,钱学森博士论文的笔试很快就顺利通过了,并取得航空、数学博士学位。

钱学森说,当时加州理工学院的博士成绩还包括口试,而口试分四个等级:最好的叫 Suma Cum Laude;其次第二等级叫 Magna Cum Laude;第三等级叫 Cum Laude;第四等级就是 ph-Doctor。他的博士论文是一流的,但口试成绩并不是最好的,而是第二个等级,即 Magna Cum Laude。为此,冯·卡门曾安慰他说:"钱,这无关紧要,考最好的口试成绩的人将来也不一定能做出最大的成就"。

1938 年,他被聘为加州理工学院航空系的研究人员,一直到 1943 年。



在这一段时间内，他先从事薄壳体稳定性的研究，1940年完成了课题研究，并撰写了论文，在美国航空学会年会上宣读，算是独立研究，出了师。从此钱学森成为冯·卡门的得力助手，二人密切合作，从事科学研究和教学工作，有时他们联名发表论文，钱学森也协助卡门，指导研究生的工作。

20世纪30～40年代，是国际航空工业飞速发展的时代。同时，与飞机设计相关的空气动力学理论也在这一时期迅速发展和完善，使得飞机设计工作，逐步摆脱过去那种纯经验型模式，并建立在可靠的理论基础上。

在这一历史性发展中，钱学森做出了许多开创性贡献。他这个时期的工作涉及航空领域的许多方面，包括亚声速、超声速、高超声速和稀薄气体动力学、固体力学、特别是壳体的非线性稳定性问题等。有了冯·卡门的指导，加上加州理工学院民主的学术氛围，钱学森如鱼得水，迎来了他一生中的第一个创造性的高峰。加州理工学院的同事们认为，这师徒二人可谓天设地造的一对，冯·卡门善于提出宏观理论框架，而钱学森则善于用一行行数学公式加以证明。卡门的另一名学生弗兰克·马勃(Frank Marble)教授说："钱是卡门最优秀的助手，每当你看到他们在一起，你就会看到创造。"

卡门对自己的学生也十分满意，他说："钱和我一起解决了许多数学难题。我发现他很有想像力，他善于将自然现象中的物理图形直观化，并将这种能力与他的数学天赋很好地结合起来。尽管他还是个青年学者，但已能在一些很难的课题上帮助我澄清自己的一些想法。这样的天才是不多见的。我和钱成了亲密的同事。"

1938年，钱学森在冯·卡门的指导下，首先从事高速飞行的空气动力学研究，即所谓可压缩流体边界层研究。这一问题在数学求解上的困难在于，高速飞行时，飞行体周围的空气密度发生显著的变化，即所谓压缩性效应，这使得方程不再是线性的。钱学森采用简化边界层方程的做法，然后运用逐次近似解法求解非线性方程，取得成功。他把已知的不可压缩流动的解推广到可压缩流动，即飞行马赫数较大的情况，得到有关高速飞行体的阻力和表面热效应两方面的重要结论。钱学森的这一研究从理论上预见了实现高速(即声速和超声速)飞行将面临的一大障碍，即后来人们所称的"热障"。这是一个观念的转变，因为在早年低速飞行时，周围的空气是"冷的"。而现在则面临一个全新的问题，即空气对飞行体的加热作用。鉴此，钱学森

指出,必须对飞行体表面采取有效的冷却或防热措施,才能实现高速飞行。

在 20 世纪 30 年代末,这一研究的实际意义还在于:当时试验飞机模型的风洞风速一般都不高,与声速比即马赫数不到 0.2,不能测定飞机在高马赫数飞行时表面受到的各种力,因此极需一个从低马赫数风洞实验结果修正到高马赫数的方法。为此,当时有数学家做了一套严密的数学推理,但很不好用。冯·卡门凭着对物理问题的洞察力,建议钱学森在求解由速度图变换得到的线性方程时,用来流状态处的切线作近似,结果可能更好。遵照老师的指导,钱学森通过计算研究,证明采用这种近似,可以计算高亚声速的流动,而且得到很精确的计算结果,这就是著名的卡门-钱近似方程。在第二次世界大战期间以及战后一个相当长的时期,在现代计算手段——电子计算机出现以前,卡门-钱近似方程被广泛用于飞机翼型的设计,特别是应用于计算作用在机翼上的各种力。

他所提出的超声速流动的"相似律",至今仍是指导人们在这一领域进行科研工作的一条重要原则。

钱学森与郭永怀合作,最早在跨声速流动问题中引入上下临界马赫数的概念。他们发现,对某一给定外形,在均匀的可压缩理想气体来流中,当来流马赫数达到一定 h 值时,物体附近的最大流速达到局部声速,这时的来流马赫数即为下临界马赫数;当来流马赫数再高时,物体附近出现超声速流场,这时数学解仍然存在;但当来流马赫数再增加时,数学解突然不存在,即没有连续解,这就是上临界马赫数。所以真正有实际意义的是上临界马赫数,而不是以前大家所注意的下临界马赫数,这是一个重大发现。

钱学森在美国研究工作的另一个重要领域是固体力学。这是因为,早期的飞机都是木质结构,外加蒙皮。但是,随着飞行速度的提高,木质结构不能适应飞机发展的需要。所以在 20 世纪 30 年代中期以后,航空工业界开始设计和生产全金属壳体结构的新型飞机。这种结构具有重量轻而强度高的优点。但当其受到的载荷超过某一数值时,壳体会发生皱瘪而失效,这种现象称为屈曲。这是飞机克服"音障"和"热障",实现超声速飞行的又一难题。面圆柱壳的稳定问题又是火箭飞行的技术关键。

从 1940 年开始,钱学森与冯·卡门合作,对飞机金属薄壳结构非线性屈曲理论的研究取得了一系列成果,包括外部压力所产生的球壳的屈曲,有



侧向非线性支撑的柱子的屈曲,以及曲度对薄壳屈曲载荷的影响等。结果说明,过去理论的缺点在于忽视了大挠度非线性影响。由钱学森推导得出的“下屈曲载荷”因和试验值很接近,其理论很快被学术界所接受,并被工程界所应用。

钱学森在空气动力学和固体力学方面的研究成果,对20世纪30年代的飞机工业从老式的螺旋桨飞机发展到现代喷气式超声速飞机所遇到的“音障”和“热障”问题,及全金属薄壳飞机的出现,奠定了理论基础。

钱学森在美国的研究工作十分严谨、认真。他每做一个课题,总要先查阅调研大量文献资料。阅读文献书籍的体会都要详细记录下来。他认为,仅仅知道在哪里可以找到所需要的资料是远远不够的,必须切实消化和掌握它们,变成刻记在自己脑海中可以反复思考,随时调用和加工的东西。

接着,从理论模型的提炼与建立,数学运算和数值计算,作图制表,直到与实验结果的对照,一步一步,甚至一笔一画,一点一滴都是那样工整认真、一丝不苟。他从不满足于一般性的理论推导,不管这种推导在逻辑上有多么严密,而是一定要通过数值计算和与实验结果的对比,使理论得到验证。一旦发现有误,便进行修正,甚至推倒重来,直到最后得到满意的结果为止。例如,关于薄壳非线性失稳理论的研究,就多次显示这一反复过程,仅编有页码的推导演算手稿就达800多页,而最后发表在美国《航空学学报》上的论文却只有10页。其工作之严肃认真、勤奋刻苦,由此可见一斑。

钱学森在完成这项异常复杂而艰巨的研究之后,也许长长地舒了一口气,他在存放这一课题手稿的信袋上写了一个英文字“Final”(意为“最后的”成果),但他立即意识到,真理都是相对的,科学家追求真理是永无止境的。所以他又立即写上“Nothing is final”(意为“没有什么认识是最后的”),并以此来警惕和鞭策自己。

钱学森在加州理工学院的另一项重要工作是关于火箭、导弹的研究。到加州理工学院的第二年,他认识了热心研究火箭技术的同学F·J·马林纳(Malina)。马林纳从小就幻想宇宙飞行,是个“火箭迷”。他比钱学森早两年到加州理工学院,也是冯·卡门的研究生之一。那时宇宙飞行还属科学幻想,火箭研究往往和这种科幻联系在一起,因而也登不上科学的大雅之堂,甚至被有些人看成是邪门歪道,不务正业。作为一名严肃的科学家,敢



于把火箭研究纳入自己的研究领域，这在当时是冒着很大风险的。

马林纳在加州理工学院组织了一个业余小组，进行火箭研究。小组成员 John W·帕森(Parsons)是学化学的，他懂火药；Edward S·福尔曼(Forman)是搞机械设计的，他懂结构问题；而 Amo 史密斯(Smith)和马林纳则是航空工程研究生。马林纳兴趣广泛，他不仅热衷于科学探索，而且对艺术、政治都有兴趣，他还是一位现代派画家，又是美国共产党党员。共同的志向和兴趣使他和钱学森结成好友。

钱学森在晚年回忆说："马林纳这个人很聪明，小组的其他几个人动手能力也强，但他们理论上不怎么样，于是找到我，要我帮助他们解决一些理论计算问题，就这样我参加了火箭小组的工作。"

小组成立起来，最大的困难是得不到理解和经费支持，同事们把他们看成一帮"怪人"，说他们拿着颇有前途的航空课题不干，却偏偏去搞什么神神秘秘的火箭研究。他们只好靠打工挣来的钱购买二手材料制作火箭。后来气象专业的一位研究生 Weld·阿诺德(Arnold)是一位摄影爱好者，他表示可以给小组提供1000 美元，条件是允许他进行拍照。当阿诺德用一张旧报纸包着一堆 1 美元和 5 美元的钞票来到马林纳面前时，小组的年轻人们都惊呆了。在今天看来，这微不足道的 1 000 美元，却成为美国火箭研究的第一笔启动资金。

惊喜过后，大家立即着手开展工作。钱学森首先对火箭研究的文献进行调研和分析计算，于 1937 年 5 月 29 日向小组提供了一份研究报告，解决了火箭设计中遇到的几个理论问题。报告的内容包括：燃烧室中的温度、火箭的理想效率、燃烧产物膨胀不足和过度膨胀对火箭效率的影响、燃烧喷嘴设计、发动机推力的计算等。这份报告被收进他们的火箭研究课题选集，该选集被小组成员称为他们的"圣经"。

到 6 月份，小组的工作得到冯·卡门的支持：允许他们利用学校实验室的设备进行试验。但是，随后的试验多次失败，并给校园造成了许多灾难性的损失。火箭试验时产生的腐蚀性气体使许多仪器的金属表面氧化，有一次爆炸差一点使马林纳丧生，污染性气体弥漫着办公楼的许多房间，呛得人喘不过气来。冯·卡门不得不把他们赶出屋去，全校师生从此戏称他们是一个"自杀俱乐部"。



但是,"自杀俱乐部"的成员们并未因此而灰心丧气,他们把设备搬到市郊,距加州理工学院有几英里之远的一个名叫阿洛约·塞科(Arroyo Seco)的干涸的河床上进行试验,这里后来发展成为著名的喷气推进实验室(JPL即 Jet Propulsion Laboratory),是美国火箭的摇篮。

1938年,正值第二次世界大战,火箭小组的研究工作引起了美国军方的注意,他们首先找到冯·卡门,征询这项工作是否值得支持。钱学森晚年说,冯·卡门这个人也是很谨慎的。他收到国防部的电报以后,一声没吭,把电报装在衣兜里,一个星期后才表态。由于冯·卡门的积极推荐,这一工作才开始得到美国政府的重视,并将它列为一项重要的机密性研究项目。

钱学森说,冯·卡门这个人是一位科学大师,而不是那种自视清高的教授。他与文化艺术界、工业界、军界和政府高官,甚至牧师都有广泛联系,而且很会做"上面"的工作。记得有一天系里来了一位政府官员,问卡门:"听说你们这里搞火箭,搞超声速,什么叫超声速啊?"卡门先不说什么,把他引到澡盆边,放上水,然后用手在水里划。开始划得很慢很慢,水波慢慢向两边散开,他告诉那位官员,这叫亚声速;然后又划得很快,水波则成尖形向两边散开,这就是超声速。那位官员立即说:"懂了"。

由于战时军事科学研究的需要,美国暂时放松了对外国人的限制,使钱学森得以参加机密性工作,他和马林纳合作,努力解决固体燃料燃烧稳定性问题,并取得了一些实质性的结果。

那时火箭的技术水平是不高的,因此开始设定的目标是研制探空火箭。但是,当时根据静态燃烧试验所做的估计,火箭可达到的高度只有1万英尺(3050米),这不能满足"探空"的需要。钱学森对此做了进一步的分析,探讨采用什么样的发动机和燃烧方案可以使火箭经济而又高效地达到更高的高度。经过研究,他提出了逐次脉冲推进的方案,可以使火箭升高到10万英尺(30500米),从而满足了火箭探空的要求。

1941年,校园里出现了几位从加拿大来的中国"庚款留英"留学生:郭永怀、林家翘、傅承义。1942年又来了钱伟长。钱学森和他们相处得比较密切,一般是一起吃晚饭,并常常讨论各种问题。钱伟长非常活跃,又多才多艺,他不仅学问做得好,还擅长作诗赋词。傅承义专攻地球物理。钱学森和郭永怀最相知(后来在1957年初,有关方面询问谁是承担我国核武器爆

炸力学工作最合适的人选时,钱学森毫不迟疑地推荐了郭永怀。郭后来对我国原子弹、氢弹事业作出了突出贡献,是我国"两弹一星"元勋之一,1968年因飞机失事而牺牲)。

1943年秋冬,周培源也到加州理工学院来做研究工作,找冯·卡门教授讨论湍流统计理论等。这一群中国同学,还有张捷迁、毕德显,星期天总到周培源老师家去玩,高谈国事,也帮师母王蒂澂烹制午晚餐。特别是钱学森,他能烧一手美味的杭州菜,令这群异乡学子们赞不绝口。

到1942年,钱学森的研究工作已有了成绩,并教了些学生;这一年,美国军方委托加州理工学院举办火箭和喷气技术训练班,钱学森是教员之一,与陆海空三军技术人员有了接触。后来美军从事火箭导弹的高级军官中,有不少是他当年的学生。一些学生回忆说:钱教授当时教的两门主要课程是工程数学和喷气推进理论。他对教学工作尽心尽责,黑板上总是写满了数学公式,逻辑严密,书写工整,从不出错,甚至连个符号都不错。在讲课结束时,他总能告诉你正确结论。而且,学生们发现,他讲的内容比教科书上多得多,也好得多,说明他比教科书的作者博学多了。一次他给学生们补习流体动力学问题,整整连续讲了15个小时,却分文不收。学生们对他这种献身精神大为感动,因为他们感到,这位年轻老师为讲好这门课,至少要花费5～10倍的时间进行准备。

1941年,聪明的马林纳看到喷气推进也是一项有利可图的事业。他建议加州理工学院火箭小组办一个公司,制造喷气推进发动机的零备件,出售给军队。此建议立即得到卡门的支持,他们每人出资200美元,于1942年成立了航空喷气公司(Aerojet Company)。卡门任总经理,马林纳任司库。随着战时的需要和火箭导弹事业的发展,该公司的合同订单滚滚而来,规模不断扩大,事业很快发展,后来,航空喷气公司发展成美国导弹的一个主承包商,公司上市的股票也节节攀升。卡门和马林纳晚年退休以后,依靠航空喷气公司的原始股票,都过着富裕的生活。钱学森从一开始就被聘为该公司的顾问,每星期三到公司去一次,帮助他们解决生产中遇到的一些问题。马林纳作为好友,曾极力劝说钱学森参与公司的股权,均被钱学森婉言谢绝。他当然不知道,在这位中国人的心里,早已拿定主意,决不在美国呆一辈子,因此也不愿发这一笔"洋财"。

1944 年,美国陆军获悉德国研制 V-2 火箭的情报,遂委托冯・卡门教授领导,马林纳为副,大力研究远程火箭。美军早期的"女兵下士"探空火箭和原始型的"下士"导弹是他们那时开始设计并研制成功又装备部队的。钱学森负责理论组;他把林家翘、钱伟长也请来,进行弹道分析、燃烧室热传导、燃烧理论研究等工作,他们的工作都很出色。

在此之前,加州理工学院提升钱学森为助理教授。冯・卡门对钱学森是很欣赏的,所以在 1945 年初他被美国国防部聘为空军科学咨询团团长的时候,提名钱学森为团员。这个团为美国空军提供了一个远景发展规划,钱学森参与此项工作,并从中学到从大处和远处设想科技发展问题的方法。1945 年 5 月,第二次世界大战结束的前夕,钱学森随科学咨询团去欧洲,考察英、德、法等国的航空研究,特别是法西斯德国的火箭技术发展情况。

钱学森随卡门在欧洲考察期间,特别是在德国,获得了许多纳粹德国战时从事火箭研究的情报和资料。咨询团审问过德国火箭专家冯・布劳恩(von Braun)、鲁道夫・赫尔曼(Rudolph Hermann)和 L・普朗特(L. Prandtl)。特别是普朗特,他是卡门从前的老师,也是一位著名的空气动力学家。师生三代著名科学家因此而会聚在一起,按理说,这应该是一次难得的聚会。但由于普朗特战时为德国服务,现在接受他的学生和学生的学生的询问,显得十分尴尬。

考察结束,钱学森写了多份关于德国火箭和喷气技术方面的调研报告,计有"箭形机翼"、"火箭"、"超声速气体动力学"、"冲压发动机"、"脉冲式空气喷气发动机"等。在此基础上,科学咨询团还编写了题为《向新的高度迈进》共 9 卷带有展望性的报告,为美国战后飞机和火箭导弹的发展提出了长远的规划蓝图,其中有 5 卷为钱学森执笔。这些报告以书籍和论文的形式出版、发表以后,在科学界产生了很大的反响,并奠定了钱学森在力学和喷气推进领域的领先地位,成为当时有名望的优秀青年科学家。同时,加州理工学院提升他为副教授。在此期间,他还为美国空军技术后勤司令部编著了一本内部教材:《喷气推进》,这是美国第一部(也是世界第一部)全面和系统地论述火箭与喷气推进科学技术的专著。

1946 年暑期,冯・卡门教授因与加州理工学院当局有分歧而辞职。作为冯・卡门的学生,钱学森也离开加州理工学院,再到麻省理工学院任副教



授，专教空气动力学专业的研究生。1947 年初，经冯·卡门推荐，36 岁的钱学森进入了麻省理工学院正教授行列。同年夏季，钱学森向麻省理工学院当局请假回国探亲，9 月中旬和蒋英结婚。蒋英是蒋百里、蒋左梅夫妇的三女儿，是在维也纳和柏林受过良好音乐教育的女高音声乐家，成绩优秀，口试成绩也是 Magna Cum Laude，这对中国人来说是很不容易的。其父蒋百里是 20 世纪初中国著名的军事理论家、教育家，曾创办中国第一所军事学校——保定军校，并担任首任校长。

结婚以后回到美国，钱学森开始在麻省理工学院，1949 年又回到加州理工学院任教，成为终生受聘的"戈达德教授"，并兼任喷气推进实验室主任的职务。这时，由于他在科研和教学工作上的成就，其声望已接近 30 年代的冯·卡门，他在古根海姆大楼里，用的就是卡门从前的办公室。而卡门这时作为美国政府的顾问，在巴黎参与联合国科教文组织组建国际宇航协会的工作。

20 世纪 40～50 年代，钱学森在火箭与航天领域提出了若干重要的概念：在 40 年代，提出并实现了火箭助推起飞装置(JATO)，使飞机跑道距离缩短；在 1949 年，提出了火箭旅客飞机概念和关于核火箭的设想；在 1953 年，研究了行星际航行理论的可能性并提出从卫星轨道上起飞的可能。他这些超前的设想和科学的预见，已被后来航空航天技术的发展所实现。他所提出的火箭旅客飞机概念，其实就是美国后来航天飞机的雏形。但他在 40 年代末提出这一科学设想时，并未得到广泛的赞同，而且在美国科学界引起了极大的震动，有人说他"疯了"；有人则称赞他是一位"科学天才"。

钱学森在美国主要是从事航空和火箭技术的理论工作，但他也直接参与工程实践。1940 年他受冯·卡门的委托，为加州理工学院古根海姆航空实验室设计建造弹道试验用的超声速风洞，他为这项工程的设计进行全面的方案论证和分析计算，并组织实施这一工程项目；1947 年，他又和别人合作，为麻省理工学院设计建造了中间规模的高超声速风洞。正是由于他在国外奠定的这些雄厚理论知识和工程设计经验，成为他回国以后在技术上全面领导我国火箭导弹和航天事业的基础。

钱学森在美国从他所从事的航空和火箭导弹的研究中得到启示，认为航空发动机实为一高效的化学反应器，因为它具有体积小、反应快、冷却迅



速,因而效率高,而且可以精确地加以控制等优点,所以可以运用航空发动机所依据的气体动力学原理,设计制造出高效的化工反应器。他为此专门设计计算了用燃气透平来生产一氧化氮和其他化工产品的方案。

由此可见,钱学森早年的专业特长虽属航空和火箭导弹等军事科技领域,但他那时就注意到这些尖端科技有可能转为民用,从而推动民用工业以至整个国民经济的发展。他回国后在广泛的科技经济领域发表了许多精辟的见解,是与那时的思想和学术基础一脉相承的。他将风洞原理用于风车发电是这方面的另一个典型事例。他在这项研究的实例计算中,所选取的高度从海平面起到海拔 8 公里以上,这正是他的祖国的自然条件,其爱国之情跃然纸上。

早在 1947 年钱学森回国探亲期间,曾应邀在浙江大学、交通大学和清华大学讲学。他在北平讲学期间,住在老一辈物理学家叶企孙家里。当时国民党政府通过胡适出面,邀请钱学森回国,出任北京大学校长或交通大学校长等职,叶先生问他意下如何?钱学森表示:“目前国内局势战乱不止,各级政府又腐败无能,在这种形势下,我不能回来为国民党装点门面。”于是,叶先生告诫他说:“你要不愿意,那就赶快走,晚了恐怕就走不成了。”他听明白了叶企孙话中的含义,立即返回上海,对新婚不久的妻子蒋英说:“我得立即去美国,你来不及和我一同出发了。但我走后你要快点收拾行李,尽早来美国和我会合。”他就这样又匆匆去到美国,等待回国的适当时机。

到 1948 年,祖国的解放事业胜利在望,钱学森看到了国家的希望,这才开始准备归国。为此他首先要求退出美国国防部空军科学咨询团,但他的这个要求直到 1949 年才得以实现。他兼任的美国海军炮火研究所顾问的职务,也是到 1949 年秋从麻省理工学院回到加州理工学院就任喷气推进技术的“戈达德教授”职务时才辞去的。

1949 年 5 月 20 日,钱学森收到美国芝加哥大学金属研究所副教授研究员、留美中国科学工作者协会(简称留美科协)美中区负责人葛庭燧(曾任中国科学技术大学教授)写来的信,他在信中同时转来 1949 年 5 月 14 日曹日昌教授(中共党员,当时在香港大学任教)写给钱学森的信,转达即将解放的祖国召唤他返国服务,领导新中国航空工业建设之切切深情。

这时钱学森还看到周培源给林家翘的信,信中周培源以极其兴奋的心

情，告诉他们解放前夕解放军占据北京西郊的良好境况，这更增加了钱学森回国的信心。

就在同时，钱学森和他身边的另一位好友，在加州理工学院当研究生的罗沛霖兴奋地讨论回国的问题，罗曾经以非党技术人员身份在延安工作过，他向钱学森谈了许多在延安的所见所闻，并认为钱学森回国，为解放了的祖国服务的时候到了。

钱学森遂加紧了回归祖国的准备，以便实现他多年的夙愿。所以他对妻子蒋英说："祖国已经解放，我们该回去了。你现在正怀孕，行动不便，等孩子生下来，我这个学期的书刚好教完，那时我们就回祖国去"。

但到第二年，美国国内的政治形势发生骤变，麦卡锡主义横行，全国掀起了一股反共浪潮和要求雇员们效忠政府的歇斯底里狂热。几乎每天都发生对大学和其他机构进行审查或威胁性审查的事件，加州理工学院也未幸免。

30 年代，钱学森由马林纳介绍，曾参加过当时加州理工学院的马列主义学习小组，也结识该小组的书记、化学物理助理研究员 S·威因鲍姆(Weinbaum)。小组曾学习过恩格斯的《自然辩证法》和《反杜林论》；每星期例会常讨论时事，主题是反法西斯和人民阵线；小组还参加过美国共产党书记 E·白劳德(Browder)的几次讲演会。这时马林纳已逃到法国，威因鲍姆被捕下狱，于是怀疑落到钱学森头上。

1950 年 6 月，两名美国联邦调查局的人来到钱学森的办公室，指出钱学森 30 年代在加州理工学院时的几位朋友都是共产党员，而威因鲍姆家的聚会实际上是共产党的小组会议。在 1938 年小组的一份成员名单里，有一个叫约翰·德克尔(John Decker)的名字。由于查不到此人的下落，于是，他们指控钱学森化名约翰·德克尔，是共产党员，属非法人境。他们还要求钱学森提供证据，指证威因鲍姆是共产党员。

钱学森义正辞严地驳斥了这些指控，说他从没有听说过约翰·德克尔这个名字。钱学森更不愿为联邦调查局作证，指控威因鲍姆是共产党员。当年联邦调查局的报告这样写道："钱学森说，作为一名科学家，他只能根据事实来判断一个人的价值或忠诚，这些模糊的事实无法确认一个人的忠诚或政治信仰，据此，他无法对别人进行臆测。"



钱学森的强硬态度令美国当局大为恼火，1950 年 7 月，他们取消了钱学森参加机密研究的资格，移民局要驱逐(deport)他出境。

钱学森当机立断，决定马上以探亲为名回国，并订了飞往香港的加拿大太平洋航空公司的机票，准备一去不返。蒋英则雇了一家包装公司，将他们的家具行李，特别是书籍和资料打包装箱，准备托运回国。

但是，美国国防部认为钱学森太有价值了，他们要插手此事，不能让司法部和移民局以任何名义放钱学森回共产党的中国。美国五角大楼(即国防部)海军部副部长金贝尔(Dan A. Kimbeel)在获知钱学森要离美回国以后，立即给司法部打电话说："无论如何都不要让钱学森回国。他太有价值了，在任何情况下都抵得上 3～5 个师的兵力，我宁可毙了他，也不要放他回共产党中国。"

此后，莫须有的罪名接踵而至：海关扣压了钱学森的所有行李，诬蔑他企图携带"机密资料"出境，触犯了"出口控制法"，勒令他"不准离境"。尽管钱学森声明，所有带机密性质的东西都锁在办公室的保险柜里，钥匙已交给克拉克·米里肯(Clark Millikan)。他带走的都是个人物品，他的笔记本、讲义手稿、公开资料等。所谓机密性质的蓝图和密码本，只不过是他手稿中的草图和对数表。但也无济于事，司法部还是签署了逮捕钱学森的命令。

1950 年 9 月 7 日，听到敲门声，产后刚刚满月的蒋英抱着女儿永真把门打开，门口站着两个陌生的彪形大汉，口称要找钱学森。蒋英看来者不善，未让他们进屋。钱学森从书房出来，问什么事，并在门口和陌生人说了几句话，他们向钱出示了逮捕令。

于是钱学森转过身，用平静的口气对妻子说："他们让我跟他们走"。蒋英立即明白是怎么回事了。她给钱学森拿了洗漱用具，抱着哇哇哭叫的女儿，用愤怒的目光，看着丈夫被人抓走。

钱学森被抓走以后，蒋英面前剩下的是一个刚满周岁满地爬着的儿子永刚和一个襁褓中的女儿永真，房屋四周则布满了联邦调查局的特务，他们那一双双贼一样的眼睛，盯着钱家的门窗。这位处于敌人营垒中的中国女性没有掉一滴眼泪，也没有被吓得手足无措，她立即拨通了加州理工学院校方的电话，告诉他们钱学森被捕的消息。

加州理工学院的同事们听说钱学森被捕，感到极大地震惊，他们都不相



信罗织在这位正直科学家头上的罪名,并冒着风险,向蒋英伸出援助之手。校长李·杜布里奇(Lee DuBridge)去华盛顿为钱学森说情;弗兰克·马勃让妻子奥拉·李·马勃(Ora Lee Marble)代蒋英在家照看孩子,而马勃本人则开着车带蒋英去寻找愿为钱学森辩护的律师。

朋友们很快打听到钱学森被关在洛杉矶以南一个叫特米诺岛(Terminal Island)的联邦调查局的监狱里。

经过努力,蒋英被允许探监,还是马勃为她开车。蒋英来到这所戒备森严、岗哨林立、荷枪实弹、周围拉着通电铁丝网的"自由王国"中的地狱。好心的马勃看到这种情况,心里发怵,他小声问蒋英怕不怕。蒋英说:不怕,她小时候在中国,就到南京国民党监狱去探视过她的父亲(1930～1932年蒋介石曾把蒋百里关押在南京监狱)。

蒋英看到钱学森被关在一间昏暗的小牢房里,脸色苍白,面容憔悴,几天时间已被折磨得不成人形。和他说话,他不回答,只能把脸绷得紧紧地点头示意。蒋英心里十分难过,她知道,丈夫已失去了语言的能力。于是她不再多说什么,仅只告诉他:"该办的事情我都在办"。钱学森点点头。狱警催促时间已到,蒋英只得匆匆离去。

经加州理工学院朋友们的抗议和多方努力,15天后钱学森被保释出狱,赎金1万5千美元。这在当时,是一个不小的数字,与那时一般1千或2千美元的绑架案相比,钱学森案件可谓大案。他又是一位著名科学家,帮助他的朋友之中,多有社会名流。因此钱学森事件在当年曾引起美国社会不小的轰动,新闻媒介争相报道。

蒋英后来说:"当时听说要价这么高的赎金,真把我吓坏了,幸亏朋友们热情地帮助,才把他救出来。"他们至今仍念念不忘如W·R·西尔斯(Sears)教授、F·马勃(Marble)教授、M·米尔斯(Mills)、登肯·兰尼(Duncan Rannie)等等在危难之中向他们提供的帮助和表示的真诚友情。

出狱几天以后,钱学森才慢慢恢复说话能力,他对那段日子不堪回首。说他作为要犯,被关在单人牢房。不准与别人接触,不准说话,监狱里空气浑浊,伙食极差。更令人不能忍受的是,夜间每隔10分钟狱警"啪!"的一声把电灯打开,察看他是否确在,弄得他整夜整夜不能入眠。15天的时间,他的体重减轻了30磅。



出狱后他仍无人身自由，在美国羁绊达 5 年之久。

联邦调查局和移民局根据麦卡锡法案，继续对他进行监视和跟踪。按规定每个月他必须到移民局去报到一次，以证明他没有逃离美国。而且圈定他的活动范围只能在洛杉矶，越雷池一步，都要向移民局申报。

其间，联邦调查局和移民局为查清钱学森是否共产党员，还多次举行所谓的"听证会"，对钱学森进行审讯。然而，在听证会上，他们拿不出一件确凿的证据，证明钱学森有罪。雇用的两名"证人"像两个傻瓜，被钱学森反问得语无伦次。一会儿说："他就是约翰·德克尔"。一会儿又说：他们"不认识"钱学森。

检察官是一个极端刁钻的家伙，他在一连串例行提问以后，突然问钱学森忠于什么国家的政府。

律师抗议说："这个提问对澄清钱学森案没有直接的意义。"

但法官裁定："抗议不成立。"

于是钱学森略作思考，回答说："我是中国人，当然忠于中国人民。所以我忠心于对中国人民有好处的政府，也就敌视对中国人民有害的任何政府。"

检察官追问："你说的'中国人民'是什么意思？"

钱学森答："四亿五千万中国人。"

检察官紧逼不放，说："这四亿五千万人现在分成了两部分，那么我问你：你是忠于在台湾的国民党政府，还是忠于在大陆的共产党政权？"

钱学森答："我认为我已经说过我忠于谁的原则了，我将根据自己的原则作出判断。"

检察官再问："你在美国这么长时间，你敢发誓说，你是忠于美国政府的吗？"

钱学森答："我的行动已经回答了这个问题，在第二次世界大战中，我用自己的知识帮助美国做事。"

检察官穷追不舍，又问："你现在要求回中国大陆，那么你会用你的知识去帮助大陆的共产党政权吗？"

钱学森毫不示弱，说："知识是我个人的财产，我有权要给谁就给谁。"

检察官又说："那么你就不让政府来决定你所应当忠心的对象吗？"

这一下钱学森可抓住了他的把柄，义正辞严地回答说："不，检察官先生，我忠于谁是要由我自己来决定的。难道你的意愿都是美国政府为你决定的吗？"

检察官狼狈不堪。第二天洛杉矶报纸上的大字标题是："被审讯的不是钱学森，而是检察官"！

然而在科学和教育界，正直的科学家和教授们都深信钱学森是无辜的，几所著名的高等学府争相聘他为教授。最后，他还是接受了加州理工学院的好意，继续在那里任教，并将自己的科研方向，转向不带机密性质的理论工作，即工程控制论和物理力学等。

在这5年的漫长岁月里，钱学森在精神上受到极大的压抑。联邦调查局的特务日夜监视着他，监听他的电话，拆检他的信件。他们还不时打来电话，或假装找人走错了门来核查他是否确在，经常对他家进行骚扰，使他不能安心工作和休息。

一次，一个联邦调查局的特务敲开了钱家的门，他一眼看见钱学森，便立即表示歉意，"啊，对不起，先生，我找错门了。"

钱学森冷冷地说："你没有错，先生，我在家好好的，你大可放心了。"

他刚转身要走，钱学森又说："我想，干你们这一行的，应该学得聪明一些，怎么能用欺骗小孩子的办法来对付一位教授？"特务满脸羞愧，匆匆而去。

有时联邦调查局的特务又假装成记者，"跟踪采访"钱学森，企图从他嘴里套出点什么。对付这一招，钱学森也有自己的"锐利武器"。

一天，一个鬼鬼祟祟的人跟踪钱学森，声称他是当地一家报纸的"记者"，要求采访钱学森出狱后的工作和生活情况。

钱学森并不正面回答他的问题，只说："我没听说过这家报纸，也从来不读那些低级趣味的报纸。"一句话噎得"记者"张口结舌，半天说不出话来。

钱学森晚年曾说："当年我对那些特务毫不客气，总是骂得他们抬不起头。他们知道我的厉害以后，再不敢接近我，只得站得远远地监视。"

在另一方面，钱学森也尽力避免和朋友们接触，以免使别人受到牵连。一位朋友从外地来洛杉矶，怀着好意去看望钱学森，使他们夫妇深为感动。在接受了朋友的好意之后，他们劝他尽快离开。不料，此后不久那位朋友就

莫名其妙地丢掉了自己的工作。可见当时美国的迫害行为到了何种程度。

1955 年 5 月,钱学森夫妇从一张海外华人的报纸上看到关于中国五一节的报道,其中有他们所熟悉的陈叔通和毛主席等党和国家领导人一起站在天安门城楼上,检阅游行队伍的消息。钱学森的父亲钱均夫在"求是书院"读书和教书时就认识陈叔通,两家人可谓世交。

这消息使他们十分激动。于是他和妻子商量如何能和陈叔通老先生取得联系,通过他营救他们回国。他们书写了给陈叔通的信,说他们"无一日、一时、一刻不思归国,参加伟大的建设高潮","心急如火,唯恐错过机会",请求祖国帮助他们早日回国。

1955 年 6 月的一天,钱学森和蒋英带着书信,来到附近的一间小咖啡馆,钱学森在门外和特务纠缠,机敏的蒋英立即溜进咖啡馆,将给陈叔通的信,夹在给比利时的妹妹蒋华的家书中,投进了邮筒。

信寄到比利时,蒋华则将这封不同寻常的信平安地转寄到国内。

陈叔通先生收到信的当天,就把它送到周恩来总理手中。

1955 年 8 月 1 日,中美大使级会谈在日内瓦开始。周总理立即指示王炳南大使,以钱学森这封信为依据,与美方进行交涉和斗争。尽管会谈开始时美国大使 U·艾里克西斯·约翰逊(U. Alexis Johnson)矢口否认美国政府扣留了任何中国公民,并不肯提供在美国的中国侨民和留学生情况。但当王炳南大使拿出钱学森的信,并当场宣读以后,约翰逊哑口无言了。他立即要求休会,并请示美国国务院。据一份资料透露,国务院又请示总统。当时的美国总统艾森豪威尔说:"让他回去吧!"在这种情况下,美国政府才允许钱学森离美回国。

1955 年 8 月 5 日,钱学森接到美国政府的通知,说他可以回国了。

当钱学森夫妇接到这一通知时,其高兴心情是可以想象的,他们立即去买机票或船票,生怕夜长梦多,形势有变。当他们听说最快启航的克里夫兰总统号(President Cleveland)远洋船只剩下三等舱船票时,他们的决定是,不管几等舱船票,只要能早日离美回国就行。等他们上了船才知道,这艘船上并不是没有头等舱、二等舱,而是故意不卖给他们。

这一天终于盼到了。1955 年 9 月 17 日,钱学森一家登上了克里夫兰总统号轮船,加州理工学院及喷气推进实验室的朋友们赶到码头欢送他们。



码头上挤满了送行的人群和采访的新闻记者。朋友们对钱学森一家怀着深深的惜别之情,送了许多鲜花和礼品。由于三等舱太小,这些珍贵的礼品只好堆放在船舱过道里。

钱学森这一天心情很好,愿意回答记者的提问。记者们七嘴八舌提了一连串的问题,无非是他为什么会被关押;回国以后有什么打算等等。他不可能一一回答,便说:"我很高兴能回到自己的国家,我不打算再回美国,我已经被美国政府刻意地延误了我回祖国的时间,个中原因,建议你们去问美国当局。今后我将竭尽努力,和中国人民一道建设自己的国家,使我的同胞能过上有尊严的幸福生活。"听众们注意到,他特别加重了"尊严"(dignity)一词,这其中蕴含了多少内心的痛苦和磨难啊!

由于人群拥挤,一些朋友甚至无法走近他们,作最后的道别,钱学森一家只好在甲板上向他们挥手致意。

应记者的要求,他们在甲板上照了相。钱学森西服革履,面带胜利的微笑;蒋英着长裙短褂,气质高雅;两个稚气未脱的孩子都梳洗得干净整洁,十分可爱。

然而照完相,美国当局却向钱学森宣布,他在旅途中不能离船,否则他们将不能对他的人身安全负责。钱学森当然理解这些威胁性语言的含义,所以,在船上他仍被当作犯人一样对待,没有人身自由。

船到公海,同船归国的中国留学生们(约 20 几人)都来看望钱学森一家。他们认为,像钱先生这样的世界著名科学家坐三等舱是很不合适的,于是联合起来向船长提出抗议。船长迫于无奈,才在日本的横滨将钱学森一家从三等舱换到头等舱。

中途,船到菲律宾的马尼拉港口靠岸,一群记者拥向甲板,采访钱学森。一名记者问钱学森究竟是不是共产党员。钱学森理直气壮地回答说:"共产党员是无产阶级的先进分子,我还没有资格当一名共产党员呢!"那些记者讨了个没趣,知道从钱学森嘴里捞不到什么东西,都灰溜溜地下船了。

在 1950 年到 1955 年这一段争取回国的时间里,钱学森因受到特务监视,失去人身自由,这给他在精神上造成很大压力,社会活动和学术活动也很少参加,他在加州理工学院将自己的主要精力放在教书和研究工作上。他的老朋友 F·马勃教授晚年不无敬佩地说,环境的险恶并没有吓倒这位



执著的科学家，他在不到半年的时间里，很快调整了自己的心态，以坚强的毅力和非凡的才华，在工程控制论和物理力学两个领域，又做出了开创性的研究成果。

1949 年 N. Wiener(维纳)发表了《控制论》一书，其英文书名是 *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*(《控制论，在动物和机器中的控制和通信问题》)，开创了控制论这样一门新的学科。从维纳所起的书名便可以看出，控制论是关于既是机器中又是动物中的控制和通讯理论的一门科学，研究的主要问题是一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质以及整个系统的运动状态。由于维纳的理论中并列包含了机器和动物，在一开始并未被科学界普遍接受。特别是苏联哲学界，认为"控制论是为帝国主义服务的反动哲学"。

钱学森基于自己在火箭技术方面的丰富知识和经验，迅速认识到维纳所创控制论的重要性。他很快便运用控制论的原理解决了一批喷气技术中的问题，诸如：火箭喷管的传递函数、远程火箭的自动导航以及火箭发动机燃烧的伺服稳定等问题。

他还意识到，不仅在火箭技术领域，而且在整个工业界和工程技术的范围内，几乎到处都存在着被控制的系统或被操纵的系统；事实上有关系统控制的技术已经有了多方面的发展，因此很有必要用一种统观全局的方法，来充分了解和发挥上述导航技术和控制技术等新技术的潜在力量，以更广阔的眼界，用更系统的方法来观察有关的问题，不仅可以得到解决旧问题的更有效的新方法，并且可以揭示新的前所未有的前景。

于是，钱学森提出了一门新的技术科学——工程控制论。他首先于 1953 年底在美国加州理工学院开设了"工程控制论"的课程，接着于 1954 年出版了英文本 *Engineering Cybernetics*(《工程控制论》)一书。这是一门技术科学，它和控制论的不同之处在于，工程控制论旨在讨论和研究在工程中(不包括生物)实现自动控制与自动调节的理论，以及自动控制与调节系统的结构原理。

该书的出版在世界科技界引起广泛注意，后被译成德、俄、中等多种文字出版发行。它一方面奠定了自动化科学技术的理论基础，另一方面又指出了这一新的技术科学进一步研究和发展的方向。有趣的是，俄文版的发

行，还为平息原苏联对控制论创始人维纳的批判起到了积极的作用。

1956年《工程控制论》获中国科学院"自然科学一等奖"；1981年《工程控制论》(修订版，由宋健修订、增补)获"国家优秀科技著作奖"；1995年修订版又获"国家图书奖"；1997年获"国家科学技术进步奖(科技著作类)"二等奖。

钱学森关于物理力学的研究也是在这一时期取得成果的。1946年，他将稀薄气体的物理、化学和力学特性结合起来研究，是先驱性的工作。他起初从事这项研究的目的，仅仅是为了搞清火箭发动机中气体的物理和化学性能。因为这时气体处于高温高压的极端条件之下，这些性能参数无法用实验手段测得。怎么办？他设想通过理论计算，获得这些参数。他凭借自己深厚的数学和物理根基，开始这项研究，并取得成果。

于是1953年他正式提出物理力学概念，主张从物质的微观规律确定其宏观力学特性，改变过去只靠实验测定力学性质的方法，大大节约了人力物力，并开拓了高温高压流体力学的新领域。在此期间，钱学森发表了"液体特性"、"气体在高温高压下的热力学性质"、"关于谱线吸收系数的某些积分的计算"等数篇论文，并在加州理工学院开设了"物理力学"课程，编写了《物理力学讲义》。这一著作直到回国以后，才于1961年正式出版。

当钱学森在回国前夕同妻子蒋英带着幼儿钱永刚、幼女钱永真向他的老师告别时，将新近出版的《工程控制论》一书送给冯·卡门。这位年过古稀终生未娶的老教授，这时已感到生活的孤独。他觉得在钱学森最困难的时候他远在欧洲，未能对他的学生提供强有力的帮助，因而感到有些内疚。今见钱学森一家来向他辞别，显得有些伤感和激动。他迅速翻看了一下这部新著，两眼噙着泪花，饱含感情地说："你现在学术上已经超过我了，我为你感到骄傲。"他和钱学森握过手，又吻别了两个孩子，拿出自己晚年的彩照，题写了"不久再见"几个字，并迅速签上他的名字，送给钱学森，表达他恋恋不舍之情。

钱学森后来回顾在美国的经历时说："我从1935年去美国，1955年回国，在美国呆了整整20年。这20年中，前3、4年是学习，后十几年是工作，所有这一切都是在做准备，为的是日后回到祖国能为人民做点事。我在美国那么长时间，从来没想过这一辈子要在那里呆下去。我这么说是有根据

的。因为在美国，一个人参加工作，总要把他的一部分收入存入保险公司，以备晚年退休之后用。在美国期间，有人好几次问我存了保险金没有，我说一块美元也不存，他们感到很奇怪。其实没什么奇怪的，因为我是中国人，根本不打算在美国住一辈子。"

从 1935 年踏上美国国土，到 1955 年回国，在这二十年的时间里，钱学森从一名勤奋的学生，成长为一名世界著名的科学家，在美国加州理工学院的科学成就是他一生的巅峰之一，他也为美国加州理工学院的教学和科研工作，做出了杰出的贡献。为此，1979 年获美国加州理工学院"杰出校友奖"(The Distinguished Alumni Award)，这是一项不可多得的殊荣。

然而，20 世纪 70 年代末，钱学森还工作在我国国防科研第一线，他不可能到美国去接受这一荣誉。而加州理工学院也有严格规定，凡本人不亲自到场，就不发给奖章和证书。所以钱学森的奖章和证书就一直陈列在加州理工学院的展室里。直到 22 年以后，也就是 2001 年，钱学森 90 大寿前夕，加州理工学院校长 D·巴尔的摩(Baltimore)考虑到钱老对加州理工学院的杰出贡献，才主动与中国方面联系，破例派 F·马勃教授专程到中国来，把该校的最高荣誉："杰出校友奖章"和证书，颁发给钱学森。全国政协副主席、中国工程院院长宋健主持了颁奖仪式；马勃代表巴尔的摩致辞；年已 90 岁的钱学森卧床接受了这一崇高的荣誉，并用英语致答谢辞。马勃回到美国以后，曾接受加州理工学院校报记者的采访，他在谈话中认为，在钱老床前的授奖仪式，"为钱学森与加州理工学院错综复杂、永远不会完全分隔的关系最终画上了圆满的句号"。

1955 年 10 月 8 日清晨，经过二十几天的海上航行，略感疲倦的钱学森睁开双眼，隔着舷窗的玻璃，看到太平洋彼岸的巨大岩石渐渐映入眼帘：克里夫兰总统号正慢慢驶入香港。他一下子兴奋起来。钱学森后来写道："我热切地望着窗外，经过这二十年漂泊在美国的岁月之后，现在我终于要回到家乡了。"

祖国和人民也热切地盼望着他的回归。由于香港当时属英国殖民地，社会情况十分复杂。为了钱学森和这一批中国学者及留学生的安全，中国政府想得非常周全，他们通过设在香港的中国旅行社与港英当局联系，派驳船直接到海上去接钱学森等一行人，绕过香港岛，把他们安全地直送九龙登

岸。当他们来到九龙，准备搭乘火车到深圳时，他们的行踪还是被新闻媒体发现了，一大群猎奇的记者等候在候车室，簇拥着要求采访钱学森。英国殖民警察虽层层设防，但终究挡不住记者的人流。钱学森急于回乡，真不想答理他们，但又无可奈何。

记者：钱先生，你什么时候开始被监禁的？

钱：怎么，你不知道这个？

记者：你的书籍和行李都带回来了吗？

钱：大部分。

记者：为什么会被查扣？

钱：你应该去问美国当局。

记者：所有在美国的中国留学生都希望回国吗？

钱：你应该明白这一点。

记者：你能告诉我们，你有哪些朋友还未获释？

钱：这是美国当局的事，我不想回答这个问题。

记者：美国领事馆有人来问你什么吗？

钱：你为什么不自己去问问美国领事馆？

记者：你何时和太太结婚的？

钱：这个问题离题了。

记者：你的儿女出生在美国吗？

钱：是的。

记者：如果你的儿女出生在美国，那么他们是美国公民吗？

钱：这个你可以自己去查。

记者：你儿女会说中国话吗？

钱：这是我个人的家事，我拒绝回答。

一位香港记者用英语问了一个问题。

钱：我想每个中国人都应该讲中国话。

记者：我只会讲广东话和英语。

钱：我想普通话在中国用得很普遍，而你是中国人，应该学会讲普通话呀！（众笑）

对于这帮记者，钱学森后来说："同样的问题，同样的心态，一如我在洛

杉矶上船那天碰到的记者一样。我和这些人没什么可谈的。"

当这些失望的记者终于消失之后,他们才能继续上路。火车载着钱学森一家和同船归国的中国学者及留学生们到达深圳。他们被香港的殖民地警察"押解"走过一座小桥,对面的海关小楼上,五星红旗在向他们招展,广播里传来了欢迎他们归国的贺词。越过一个铁栅门,他们才算真正回到祖国大陆的怀抱。

中国科学院派来的代表朱兆祥和广东省政府的有关人员在桥头迎接,他们受到了热烈的欢迎和热情的接待。

在深圳海关接待室,这一群中国学子们抑制不住内心的喜悦,互致道贺,欢声笑语,庆祝他们胜利归来。钱学森走到物理学家李正武、孙湘夫妇面前,伸出双手,高兴地说:"正武兄、孙湘妹,这下可回到祖国了,恭贺恭贺!"互相长时间地握手、道贺。

接下来办理入境手续。钱学森指着几个大木箱子对朱兆祥说:"这就是1950年被美国政府无中生有地诬陷为'携带机密资料出境'的箱子。出于抗议和期待,这几个箱子5年来始终处于原封不动、待机启运的状态,现在它们也终于进了祖国的大门。"

党和政府对他们的关怀和照顾无微不至。中共广东省委书记陶铸会见了钱学森,并安排他在广州参观访问。陶铸向钱学森介绍了祖国各地和广东省各项建设事业欣欣向荣的景象,令他耳目一新。为此,他在广州新华书店专门买了《第一个五年计划》和《中华人民共和国宪法》等小册子,认真阅读和学习。陶铸还讲到解放后中医事业的发展,令他印象深刻。他晚年在从事人体科学研究时,多次提到,关于中医问题,他过去一无所知,给他上第一课的是陶铸同志。

在朱兆祥的陪同下,钱学森一家于10月13日回到上海。74岁的老父钱均夫亲到车站迎接,他知道儿子喜欢绘画艺术,专门买了一套中国名画册送给他。这位年过古稀的老人第一次见到孙儿孙女,十分欣慰。

钱学森对上海的变化惊叹不已。街道干净整洁,没有乞丐,没有小偷,也没有趾高气扬的洋人。取而代之的是衣着朴素的男男女女,扎着红领巾的少年儿童。在商店里,各种商品琳琅满目,价格便宜,再不需讨价还价……新鲜事儿令他目不暇接。他在上海参观了母校交通大学,拜会了他

的老师和朋友,并回杭州老家探亲以后,便又匆匆乘上火车,于 10 月 28 日抵达首都北京。

二

钱学森一家回到北京,受到中国科学院的热烈欢迎,他们一家被临时安排住在北京饭店。他自己做的第一件事,就是在翌日清晨带领全家来到天安门广场,目睹这个毛主席宣布“中华人民共和国成立了,中国人民从此站立起来了”的神圣地方。面对着雄伟的天安门城楼,钱学森感叹道:“我相信一定能回到祖国,现在终于回来了!”

对比二、三十年代他居住旧北京的景况,新北京真是发生了翻天覆地的变化。钱学森还怀着兴奋和好奇的心情,带领全家步行到王府井大街转转,也顺便去新华书店买几本书。他们的行踪立即被中央有关领导同志知道了。于是通过中国科学院给钱学森安排了一辆专车,并告诉他,出门一定要有人陪同,并乘车前往。

钱老晚年曾回忆说,他住北京饭店期间,在一次宴会上曾听、看过侯宝林的相声。这又使他感到惊叹。他说,自己打小长在北京,也去天桥听过相声。但解放后的相声跟解放前天桥地摊的相声可大不一样了,格调高雅,内容健康,那简直是一门语言艺术,真了不得。他那时就认为,侯宝林称得上是位艺术大师。后来由于工作繁忙,他很少参加文艺晚会,也无暇再听侯宝林的相声了。谁知 20 年后,他却与侯宝林戏剧性地再次相会。那是在 1975 年元月,“文化大革命”尚未结束。在毛主席的支持下,周总理抱病主持召开四届人大一次会议。由于“四人帮”的干扰,这个会开得很不容易。在邓小平的协助下,周恩来带病筹备这次会议。当会议文件和人事安排等一切都准备就绪以后,周恩来亲赴湖南,向毛主席作最后的请示汇报。当周总理将会议文件,其中包括人大代表名单呈毛主席审阅时,这时毛主席身体不好,精力已经很差了。他摆摆手说:“不看了。但我想起两个人,一个是钱学森,一个是侯宝林,请你查查人大代表里有没有,如果没有,就把他们补上。”周总理回京后立即查实。结果,钱学森是人大代表,而侯宝林还关在“牛棚”里。这才立即派人,把侯宝林“解放”出来,直送人民大会堂,参加四

届人大。也许由于这个原因，会议期间，特意安排钱学森和侯宝林在休息室合影。一位科学大师和一位艺术大师亲切交谈的照片由此留给了后人。

1993 年侯宝林老先生去世，钱学森这年也 82 岁高龄了。他认为侯宝林去世是我国相声事业的一大损失。他用颤抖的手，把报纸上有关侯宝林的各种报道文章一一剪下来，并粘贴整齐，还指示我们要好好学习侯大师的献身精神。他称侯宝林是"伟大的人民艺术家"!

让我们把时间的距离再拉回到 1955 年 10 月钱学森刚刚回国的日子。中国科学院院长郭沫若举行盛大宴会欢迎他，在京的著名科学家和他在美国的老朋友都来庆贺他的回归。11 月 5 日，当时主管科学工作的陈毅副总理接见了钱学森，代表党和国家欢迎这位爱国的科学家。陈老总亲切幽默的话语和坦荡直率的风格给钱学森留下了深刻的印象。他对钱学森的关怀和期望，使他进一步感到党的温暖，感到"回家"的温馨。同时他也意识到自己报效祖国的事业就要开始了。

钱学森归国后的科学事业主要分两个方面：一是为中国科学院组建力学研究所，这是中国科学院领导筹划已久的事，今天有了钱学森这位世界力学权威，组建力学所的任务自然是水到渠成了。另一个方面是军队和国防部门对他的殷切期望。关于这后一点，当时还鲜为人知，钱学森本人也没有这方面的思想准备。在他正式开始工作以前，科学院的领导建议他到东北去考察一下，那里有许多新兴工业，又有科学院的一些研究机构。钱学森明白，他的工作必须建立在祖国现有的科研和工业基础之上，所以他欣然同意这一正确的安排。东北之行仍由朱兆祥陪同，它虽然是一个插曲，但却与钱学森日后两个方面的事业都有直接的关系。

从 1955 年 11 月 22 日到 12 月 21 日，钱学森在东北地区整整参观、访问了一个月。从东北的哈尔滨沿铁路南下，一直到港口城市旅大，参观了当时全国最大的钢铁厂、煤矿、水电站、炼油厂、冶炼厂、化工厂、机床厂、汽车厂、电机厂、飞机厂等等，访问了一些大学和研究所，还应邀在几个研究所和大学里作了学术报告。

此行对于钱学森是非常重要的，一方面他看到了建国 6 年来祖国社会主义建设事业欣欣向荣、迅速发展的情况，亲身感受到共产党的巨大组织领导力量；另一方面是通过此行完成了他对于组建力学研究所、发展力学事业



的构思。特别是通过在哈尔滨工业大学、长春机电研究所和沈阳东北工学院的三次讲演，一次比一次完整地勾画出他的设想蓝图。

从东北回来已是 12 月下旬，他向科学院领导汇报了他对发展祖国力学事业的设想。科学院院务会议在 1956 年 1 月 5 日召开，会议认为成立力学研究所的条件已经成熟，不必再按常规经过筹备阶段，而可以直接宣布力学研究所正式成立了。从钱学森进入国门到力学研究所成立，总共不到 3 个月时间，这可能是科学院内成立最快的一个研究所了，科学家们都称赞这是科学院工作的一大进步。

钱学森一行是在 11 月 23 日到达哈尔滨的，原来日程安排并无参观哈尔滨军事工程学院一项。但钱学森本人提出，他有两个朋友在哈尔滨，一个叫庄逢甘，一个叫罗时钧，希望这次能见到他们。陪同的朱兆祥事先知道，罗时钧是钱在美国时的学生，而庄逢甘也属学生辈，现都在军事工程学院工作。只因这所军事院校的保密要求很严，所以未敢把参观该校列入日程。第二天一早在出发参观烈士纪念馆前，他只好把钱学森的要求电话报告了中共黑龙江省委。当参观回来时，省委来了电话，说军事工程学院请示了北京，同意钱学森来访。于是改变日程表，第二天一早就去哈军工。

11 月 25 日刚上班，钱学森一行来到哈尔滨军事工程学院。出乎他意料的是，出来欢迎的竟是学院院长陈赓大将，而且他是在清晨乘专机匆忙从北京赶来亲自接待钱学森的。

陈赓是我军的一位儒将，他在欢迎辞中说："我们军事工程学院打开大门来欢迎钱学森先生，对于钱先生来说我们没有什么密要保的。那些严格的保密规定，无非是在美国人面前装蒜，不让他们知道我们的发展水平。"他一直陪同钱学森参观了空军工程系、海军工程系、炮兵工程系等。这所学校请了 20 几位苏联专家，建设发展速度很快，现代化的风洞、水槽都已建起，实验室里很重视教学演示设备，而且用部队办法管理，井井有条，一尘不染。陈列馆里陈列了许多在朝鲜战场上缴获来的美军轰炸机、坦克、带有电子管能够自动寻的的炮弹等。陈赓手指这些东西，笑着说："都是些美国人的玩意儿，保什么密。"

在室外的一个小火箭试验台前面，钱学森停了下来。这是一个非常简陋而又原始的固体燃料火箭试验装置，钱学森很有兴趣地和正在安装调试



的教师讨论起来。陈赓大将见时机已到，便立即插话问道："钱先生，您看我们能不能自己造出火箭、导弹来?"钱学森在美国憋了一肚子气，所以他不假思索，脱口而答："有什么不能的，外国人能造出来的，我们中国同样能造得出来，难道中国人比外国人矮一截不成！"陈赓听到钱学森这句话，开始十分惊异，继而变得兴奋起来，他立即上前握住钱学森的手说："好，我就要您这句话。"

多年以后钱学森才知道，陈赓是带着国防部长彭德怀的指示，专程赶回哈尔滨，就此专门请教钱学森的。也许是因为这句话，就决定了钱学森从事我国导弹和航天事业的生涯。

回到北京，钱学森一方面投身到建立中国科学院力学研究所，发展我国力学事业，使力学这门古老而又年轻的科学为我国社会主义建设事业服务；另一方面，为增强我国的国防力量，他又在国家和军队领导同志的鼓励和推动下，投身于我国国防科技事业。

关于建立中国科学院力学研究所，发展我国力学事业的问题，在获悉钱学森即将回国的时候，当时科学院的领导就和我国力学家周培源、钱伟长商量，拟以钱伟长在数学所的力学研究室为基础，成立力学研究所，并一致推荐钱学森为未来的力学所所长。在钱学森第一次和科学院的领导见面以后，由他任力学所所长之事就确定下来了。

他从东北回到北京以后，便和钱伟长一起，找数学家和力学家座谈，访问北京的几所著名大学和有关研究所等，明确建所方针，拟定建所方案，抽调人员，寻找办公地点等，在不到三个月的时间内，就把力学研究所建立起来了。而且新建的力学所已经超出了传统的力学范围，它完全是按照钱学森关于技术科学的思想建立的，实际上，它是一个综合性的技术科学研究所。这既符合力学的长远发展方向，又符合我国社会主义建设的需要。这个建所思想对力学所的发展起了决定性的影响，而且至今仍有广泛的指导意义。

归纳起来，钱学森关于建立力学研究所的思想有以下几个主要方面：

1. 技术科学是介于自然科学与工程之间的一门独立的学科，也可以称之为桥梁。这里所讲的自然科学包括物理、化学和生物学等。数学则是技术科学的不可缺少的工具。技术科学要应用和发展自然科学和数学的理论

和手段,解决工程面临的实际问题。技术科学不是工程,它的主要任务是领导工业的发展。就是说,从战略上讲,它应以新概念、新理论、新技术、新方法来武装工业,带动工业前进,并促使它不断发生质的飞跃。换句话说,这就要求从事技术科学的科学家要根据自然科学与工程的现状和发展趋势,有远见地选定超前的研究课题,不断开拓新的领域。技术科学也要解决工程当前面临的问题,但与前者相比,对科学院的研究所来说,这个任务是第二位的。

2. 既然技术科学的对象是工程,那么它就不能像自然科学那样设法把研究对象孤立起来,以研究其精确而又普遍的客观规律为目标。技术科学研究的对象是工程环境下的复杂系统,它追求的是虽不十分精确且带有一定经验性的实用规律,但必须是最大限度上建立在自然科学和数学基础上的。一个好的技术科学家应当有能力从复杂的实际问题中捕捉住主要矛盾,提炼出清晰的物理机制,建立数学模型,通过计算,得出与观测或实验相一致的结果,并可以据此得到工程上有用的定量预测。对于一个复杂的问题,这个过程往往不是一蹴而就的,必须充分掌握所有有关这个问题的事实,运用自然科学的规律作精密细致的思考,经多次反复才能完成。物理机制、数学模型都是主观的东西,要使主观与客观相一致,必须作出艰苦的努力,没有别的途径。技术科学既然带有一定的经验性,那么它所给出的结论就有局限性,技术科学工作者对此必须十分警惕。

3. 技术科学的目标不是一个具体工程中的个别问题,而是一类或几类工程中带有共性的"一般性"问题。从这个意义上讲,它是关于工程的基本理论。本世纪初,工程上最急需或首先要用到的是力学,所以应用力学首先得到发展,成为技术科学的先驱和样板。到了本世纪中叶,已经可以看到,除应用力学之外,技术科学还应当包括更为广泛的内容,例如凝聚态物质、电子学、核反应、核能和核工程、燃烧、金属的塑性加工成形、运筹学、工程控制论、计算技术、工程光谱学、工程经济学等都应作为技术科学包括的内容。他极力主张学科交叉,提出了化学流体力学、物理力学、电磁流体力学、流变学等。这就是说,技术科学的内容不仅在内涵上要不断深化,而且在外延上也决不可故步自封。

4. 技术科学的性质既然如此,对科研人员的素质自然也就提出了一系



列的要求。他认为,技术科学工作者应很好地掌握数学,使它成为自己的工具。要有坚实的自然科学基础和熟悉工程技术中的方法和问题、能把工程技术中的实际问题提高到自然科学规律的水平上来研究。在开发一种新的工程技术时,技术科学工作者首先要能对其可能性、可行性和克服困难的主要途径作出判断。

基于这个基本思想,早在 1956 年 11 月,钱学森就明确了力学所先成立的 4 个研究组和它们的研究方向。这 4 个研究组是:

弹性力学组。研究抗(地)震的力学问题,其主要科学问题是非平稳随机载荷下的结构动力学。因为我国是多地震国家,这个领域的应用背景十分明确。

塑性力学组。研究描述物质塑性行为的本构理论,其主要科学问题是如何将物质的微观行为,如位错,与宏观行为结合起来。应用背景很广泛。

空气和流体动力学组。研究叶栅流动,主要科学问题是叶栅引起的复杂旋涡运动,这与提高喷气机中压气机和涡轮机的效率有密切关系。

自动控制理论组。研究工程控制论,这与自动化等技术有直接关系。

1956 年初力学所成立之后,又陆续按照技术科学的思想,建立了化学流体力学组、物理力学组、运筹学组、激波管组、等离子体动力学组等。

力学所成立起来以后,对多数人来说,方向和任务都是全新的。所以首先遇到的问题是从哪里起步?钱学森又抓了几项打基础的工作:

1. 首先要求大家了解和掌握情况,特别是国内外文献情况。因为那是工作的起点,只有这样,才能避免走老路,并以最快的速度前进。他自己带头,建立力学所的资料文献库,每天阅读大量文献资料。

2. 开设各种专题讨论班,在那里,不论资历深浅,大家都是平等的,这就是发扬学术民主。这在从哥廷根大学起源,由普朗特和冯·卡门创建的应用力学学派里,早已不是什么新鲜事了。只不过,在卡门主持的美国加州理工学院的古根海姆航空实验室里,讨论早已超越了经院式的模式,工程目标、工业界的参与已经是这类讨论班的一个重要特色了。在力学所,钱学森宣传、鼓励和推行了这种做法。

3. 人才和干部培养是建所初期另一个突出的问题。为此,他给当时还在美国的郭永怀写信,推动和促成了郭永怀回国,参与力学所的工作;另一



方面，由于应用力学和技术科学的特色，力学所从理工科的多种专业吸收毕业生。进所分配到研究组后，就按指定的方向学习，参加讨论班并参与一定的研究工作，同时强调要在干中学。为了加速干部培养，力学所与清华大学联合举办了力学研究班，从理工科青年助教、应届毕业生和高班大学生中抽调学员，在应用力学方面进行专门训练，以达到研究生水平。此外又在中国科技大学创办近代力学系，他兼任系主任，并亲自授课，按照理工结合的精神，培养新一代的专业人才。

钱学森在科技大学讲课时发现，班上农村学生较多，经济都很困难，许多学生买不起计算尺等学习用具。连个计算尺都没有，怎么学习力学？正好这时，他的《工程控制论》一书中文本出版，稿酬有 1000 多元，这在当时是一个不小的数目。于是他毫不迟疑，将这 1000 多元的稿费，捐给了科技大学力学系，资助贫困学生买学习用具。直到今天，当年力学系的一些学生还清楚记得，他们一入学，系里就发一个计算尺，并特地说明，这是系主任钱学森送给大家的。

4. 他强调技术科学以及作为其一部分的应用力学既然要为工程服务，并领导工业前进，那么就必然要强调研究工作联系实际，发扬合作精神，研究成果必须经得起实践的考验等等。

在力学所人们看到这位刚刚归国不久的科学家，每天早出晚归，忙忙碌碌，不是开会或找人谈话商量问题，或筹划实验室的建设，就是埋头读书，研究学问，或作学术报告，介绍国内外的发展。他的学术报告不仅内容新颖、翔实，而且深入浅出，使一些艰深而又复杂的问题变得通俗易懂，生动活泼。所以，每当他作报告，不仅力学所的人踊跃参加，而且科学院其他研究所、大专院校和外地的一些科技人员都赶来，聆听他的报告。有人在几十年后，仍对他当年的学术报告记忆犹新。力学所的各项工作也在钱学森的带领下，逐渐走上轨道。

1956 年春，钱学森还积极参与制订新中国第一个远大的规划——《1956 至 1967 年科学技术发展远景规划纲要》(简称 12 年科学规划）的工作。这一规划是在周总理亲自领导，由陈毅、李富春、聂荣臻等领导人具体组织数百名科学技术专家参与制订的。钱学森作为一名火箭技术专家，由他主持，与王弼、沈元、任新民等合作，完成了第 37 项《喷气和火箭技术的建



立》,它将喷气技术和火箭导弹事业纳入了国家长远规划,勾画了这一尖端技术的发展蓝图,对推动这一事业的发展起了重要作用。

他们在规划的说明书中指出:“喷气和火箭技术是现代国防事业的两个主要方面:一方面是喷气式飞机;一方面是导弹。没有这两种技术,就没有现代的航空,就没有现代的国防。建立了喷气和导弹技术,民用航空方面的科学技术也就不难解决了。”规划的目标是:“本任务的预期结果是建立并发展喷气和火箭技术,以便在12年内使我国喷气和火箭技术走上独立发展的道路,并接近世界的先进技术水平,以满足国防的需要。”他们还规划了大体的进度:“1963～1967年在本国研究工作的指导下,独立进行设计和制造国防上需要的达到当时先进性能指标的导弹。”

作为一名世界知名的科学家,钱学森还积极参与了整个规划的制订工作,担任由12名科学家组成的综合组组长,负责整个规划项目的评价、裁决、选择和推荐工作,综合各方面的建议,最终供领导决策。不言而喻,这一工作是十分艰巨而关键的。钱学森是一位学识渊博的科学家,由他担任综合组组长,既是众望所归,又体现了党和国家对一位刚刚回国的科学家的信任和重托。钱学森不负众望,胜利地完成了这项任务。

发展科学技术的12年规划的重要成就,除了制订了57项重大研究任务以外,最重要的是确定了6项紧急措施,亦即原子能、导弹、电子计算机、半导体、无线电电子学和自动化技术(当时对外只公开了四项,未提原子能和导弹两个保密项目)。为什么会挑选出这6个项目?而且当时几乎是所有科学工作者都一致同意这6项是当时国家最为紧急需要的项目?钱学森可以说是起了举足轻重的作用。

从现在的眼界来看,这6个项目是科技发展全局的关键点,或生长点。但是在当时却并不那么显然,而且还有不少争议。譬如说,从国防的角度来看,中国应该重点发展导弹,还是发展飞机?二者的关系又如何?就有不少争议。首先是早在1955～1956年,苏联、美国的人造卫星并没有上天,洲际导弹技术在国外也没有突破。所以当时对于导弹究竟能不能成为一项重要的国防技术,一般人并没有明确的认识,许多人甚至不知道导弹是怎么回事。大家有比较明确认识的倒是飞机。所以当时一个主要的争论是,我们国家要不要搞导弹,能不能搞导弹?导弹和飞机的关系是什么?此一争论



在制订 12 年科学规划时摆到了桌面上。

对此，钱学森在发言中认为，飞机的重要性自不待言，而导弹确是一种新的有巨大威胁力的武器，其作用在二次大战末期已初现端倪，希特勒德国就使用了 V-1 火箭和 V-2 导弹。飞机与导弹各有优缺点，在战争中是相辅相成，缺一不可的。飞机的机动性好，但导弹的优点是它的速度快，这在战争中无论是从攻击还是从防御的角度看，都是一个重要的战术技术性能指标。

另一方面他又从技术上指出，导弹虽然是一种新型武器，但攻克火箭导弹技术并不见得比飞机更难，从一定意义上说，研制一枚导弹也许比制造一架高性能飞机更容易一些。因为导弹是无人驾驶的一次性武器，而飞机则有人驾驶，且要求多次使用，这在发动机、结构、材料和飞行安全等问题上都有许多特殊的要求。可以说，它是一个更为复杂的问题，需要更为先进的、坚实的工业基础，我们国家目前尚不具备这个条件。他给大家介绍说，发展导弹在技术上也会遇到许多难关，比如制导问题。这也是当时大家不知道导弹为什么会自动飞向目标的一个神秘问题。针对这一情况，钱学森给大家讲解了许多制导的原理，其中包括洲际导弹的制导原理。他对制导技术的方方面面进行了剖析，并由此得出结论说，这个问题在短期内易于突破。所以导弹作为一种现代武器，应及早引起人们的重视，并列入重点项目予以突破。

钱学森的这一具有真知灼见的分析，自然为很多人所接受，并统一了大家对导弹问题的认识。在军队方面，钱学森亲自给我军高级将领作报告，讲解火箭导弹知识，分析导弹在未来战争中的作用。他的讲课深入浅出，形象生动，使许多科学知识不多的老将军都听得津津有味，并对这一尖端武器产生了莫大的兴趣。

通讯技术既是国防建设上的关键技术，也是经济建设中的重要技术。但是在通讯技术的发展上，当时也有争论。争论的焦点之一，是有线和无线之争。为什么会有相当一部分人主张重点发展有线？这除了有技术上难易等问题以外，最主要的是因为有线易于保密，而保密却是军事技术上一项根本的要求。

为此，钱学森提出意见说，保密当然是通讯技术的重要要求之一。但是



有线通讯的局限性太大,不能适应现代战争的多种多样和灵活反应的要求,其严重的弱点是在未来的现代化战争中极易受到破坏。无线通讯将比有线通讯具有更好的更广泛的适应性。至于保密问题,完全可以设法通过其他办法求得适当解决。然而,无线电电子学的重要性还不仅在于通讯,它是民用技术以及现代化国防技术中不可缺少的手段。在工农业、医药卫生等部门都离不开无线电电子学。在国防技术上,如雷达、自动化火炮的设计和指挥等,也都离不开无线电电子学。钱学森还特殊地论证了大面积彩色电视在现代战争中的作用,指出大平面显示系统将极大地有利于军事指挥机关对现代战争的监视和指挥。钱学森的这一独到的精辟见解,在当时真是令人耳目一新。由于钱学森等的提倡,一时之下,我国工、农、交通、文教、卫生等各部门都纷纷要求有无线电电子学方面的人员去配合他们的工作,一时间他们成为我国人才最短缺的"短线"。

电子计算机在当今时代的重要性是毋庸置疑的。但在当时,这也是一个有争议的项目。电子计算机是那时一项划时代的发明。已知美国的电子计算机每秒能运算 8000 次,这比起手摇电子计算器来真是飞跃式的进步。但是,当时人们的认识也仅限于此,至于电子计算机的快速发展和广阔的应用前景,在当时却并不那么明朗。而计算机能否部分代替人脑工作的问题,从科学技术上来说,一般人存有疑问,从哲学上说,在那个时代,许多人也不敢问津。为此,钱学森举出许多实例,说明推进快速电子计算机的重要性,他曾以水轮机的设计为例加以说明。过去为了设计好水轮机,要进行许多实验模拟,理论只能在极其简化的条件下进行计算。现在由于有电子计算机,就可以用数值方法对包含一切因素的复杂方程精密求解。这样就可以在方程式中把影响水轮机设计的种种因素都放进去,这就能在最短的时间以最经济的办法做出最佳的设计。

钱学森还提出,过去数学家所能研究的方程是线性方程,而实际问题中所遇到的却是非线性方程,如流体力学方程。过去由于没有先进的计算手段,对于非线性方程只好采用线性近似的办法,这就丢失了原来方程式中所蕴含的许多特点。在有了计算机以后,就可以用数值方法来求解非线性方程,当然也因此提出了发展计算数学的种种理论问题。

钱学森还举出电子计算机可以下象棋的实例,表明可以代替人的部分



思维。那时有人怀疑电脑怎么会胜过人脑。钱学森回答说，人的度算远不如电子计算机快捷，人脑工作久了会疲倦。所以，电脑在某些方面能胜过人脑。钱学森还介绍了电脑的记忆功能、逻辑功能、甚而学习功能等等，指明这是极有发展前景的领域。于是，这一重大项目的决策就此确定下来了。

关于自动化技术问题，钱学森也做了很好的论证。他向我们解释了生产过程的机械化和生产过程的自动化在原则上的差别。机械化是只能按一定生产程序面操作的机器；面自动化却是在电子计算机控制下能适应各种不同情况而自动工作的机器。未来工业的发展必然要走向自动化操作。这不仅可节省大量劳动力，而且是保证高质量的产品所必需。尤为重要的是：在未来战争中，必须有自动化的攻防装备，否则就不能适应未来的高灵敏的快速反应的战争需要。

钱学森还特别提出农业耕作的自动化问题。他认为，中国农业的发展不能仅限于机械化，而是必须走向自动化。中国农业发展的特点是精耕细作，按照钱学森的说法是如同绣花一样。所以中国必须发展自动化的农业机械，必须在农业机械的设计上引人控制机。

原子能不是钱学森的专业。但是他也预见到许多重要领域的发展。他曾指出快中子堆的重要性，因为这能增殖燃料。他也曾提倡研究受控热核反应。为此，他在规划研讨会上做过一个如何实现受控热核反应的精彩报告。他指出只要将墙壁做成多孔材料，那么通过液体在多孔介质中的渗漏，将能解决任何大量热能产生后的散热问题。他还指出研究原子能在飞机和潜艇上应用的重要性，因为这能极大地增加续航能力。

钱学森也热情地支持半导体的研究。因为利用半导体将能制成体积小、寿命长并稳定可靠的二极管和三极管。这对发展无线电电子学、自动化技术至关重要。

钱学森除了对上述 6 项紧急措施的决策做出极其重要的贡献以外，还提出和指出了许多有价值的科学想法。例如，他曾讨论到水翼船对我国国防以及水上交通的重要作用。由于水的密度远大于空气的密度(约相当于高空稀薄空气的 10^3 倍)，因而只要用面积很小的翼面，就足以在水中将高速行驶的船体托起，从而将大大减小水的阻尼作用，极大地提高舰艇的航行速度。如果将水翼船制成高速行驶的鱼雷艇，就能灵活地避开敌舰炮火的



压迫，逼近敌舰释放高速鱼雷。他还曾讨论虹吸现象在小型水利设施中的作用(可避免使用闸门)，指出利用虹吸管将有利于小水电的建设，即将小型水轮机放置在虹吸管中并可输出电流。

钱学森也十分重视理论问题的研究。他指出统计物理和量子力学均在工程技术中有重要意义。统计物理可用来计算流体力学方程式中所需用到的状态方程，又指出玻尔茨曼方程对研究飞行物在稀薄气体中飞行轨道问题有重要作用。钱学森还竭力提倡运筹学(Operational Research)的研究。他既谈到运筹学在交通运输以及经济规划中的作用，也讨论到在两军对抗情况下运筹学的运用问题。由于钱学森的提议，在我国才开始了运筹学的研究。这一举措也为后来他大力倡导的系统工程奠定了理论基础。

在钱学森的主持下，当时的综合规划组曾逐项逐项地讨论过 57 项重大科研任务。在讨论这些项目的过程中，钱学森除了从国家经济建设、国防建设需要的角度来审定这些项目的指导思想以外，他还总是从现代科学可能的发展前景的角度，提请这些项目的倡议者或草拟者注意现代物理和化学的成就对解决这些重大科研任务的作用和影响。这就使得这些科学研究项目的制订能看到科学技术发展的未来。

钱学森也充分注意到科学技术的发展还需要注意解决自身发展中所存在的一些问题。例如计量基准问题，科技情报问题等等。正是在钱学森的提议下，科技情报系统的建立，也就成为 57 项重大科研任务的最后一项，而且，自此以后，我国才开始建立各级和各部门的科技情报研究单位。

在制订 12 年规划的过程中，钱学森的渊博知识和聪明才智得到了充分地展示，中央首长和科学院的领导对他的工作十分满意。科学院院长郭沫若十分欣喜，并赋诗一首，赠予钱学森："大火无心云外流，望楼几见月当头。太平洋上风涛险，西子湖中景色幽。突破藩篱归故国，参加规划献宏猷。从兹十二年间事，跨箭相期星际游。"

三

作为一名在美国搞了十几年应用力学和火箭导弹技术的科学家，钱学森一回到祖国，同时也受到国防和军事部门的高度重视。陈赓在哈尔滨军

事工程学院接待钱学森以后，便立即飞回北京，向国防部长彭德怀汇报了钱学森认为中国人能够搞导弹的信心和看法。于是彭德怀希望尽快见到钱学森，亲自征询他关于中国如何搞导弹的具体意见。所以，钱学森尚未回到北京，彭德怀就几次给科学院打电话，询问钱学森回来没有。

1955 年 12 月下旬，钱学森从东北回到北京，不几天，就在朱兆祥的陪同下，会见了彭德怀，在座的还有陈赓。

军旅出身的彭德怀元帅谈话是直截了当的，没有寒暄，没有客套。他说："钱先生，我是个军人，今天找你来，想谈谈打仗的问题。我们不想打人家，但若人家打过来，我们也要有还手之力。"他问钱学森："我们能不能先搞出一种短程导弹，比方说射程 500 公里，这需要什么样的人力、物力和设备条件？估计需要多长时间可以造出来?"钱学森略作思考，回答说："搞导弹当然不是一件容易的事，需要有一支搞研究和设计的队伍，需要建一些地面试验设备，也需要有专门的加工制造工厂，原材料可能需要全国各有关部门的支持。至于人力、物力，这需要仔细估算一下。而时间嘛，美国从军方开始支持搞导弹，到搞出第一枚导弹，用了近 10 年的时间。我想，我们可以比他们快，有 5 年的时间我看是可以的。"

彭德怀听到这位火箭导弹专家这么有信心，非常高兴，又向钱学森请教了一些导弹的技术知识。说起导弹，钱学森当然得心应手。他又在美国空军科学咨询团工作过，还在火箭与喷气技术训练班给美国军人讲过课，对军事上的需求也十分熟悉。他将军事与技术结合起来，谈得头头是道。彭德怀听得很有兴趣，觉得听钱学森谈话很长知识和见识，于是对陈赓说："我们的军队不能老是'土八路'，也要学点洋玩意儿，你安排钱先生给我们军队高级干部讲讲课，让大家都开阔眼界，长长见识。"于是钱学森又在 1956 年元月，给我军高级将领作了火箭导弹技术的讲演。在总政排演场，一连讲了三天，盛况空前，引起我军高级将领的极大兴趣。

钱学森晚年曾说："我刚回国那会儿，是彭德怀首先支持我搞导弹的，这一点今天要说清楚。'文化大革命'以前，他的事我不好说什么，但他是个好人，这点功劳现在应该肯定。他之所以对这件事这么着急，我想跟他亲临朝鲜战场，跟美国人打了一仗有关系。他对现代化的战争有亲身的感受。"

有了这些宣传、普及工作之后，创建我国火箭导弹事业的部署很快就正



式启动了。

1956 年 2 月初，一个周末的下午，叶剑英会见并宴请钱学森夫妇。作陪的是陈赓，谈话的主题也是导弹问题。有了和彭德怀谈话的基础，这次钱学森谈得更加具体了，包括人力、物力的估算，人员、机构的设置等等，他已经有了一个初步的设想和蓝图。谈话气氛十分融洽，叶剑英、陈赓听得聚精会神。三人对火箭、导弹的兴趣越谈越浓，他们的心情也愈加迫切。叶剑英便直截了当地提出："希望钱先生在科学技术上主持这件事。"

为祖国效力是钱学森多年的宿愿，祖国的强大是他梦寐以求的理想。所以钱学森并不犹豫，当即表示，他感谢领导的信任，将努力为之。

叶剑英看到时机已经成熟，便立即起身说："今天是周末，总理他们可能在'三座门'(军委办公地)跳舞，我们现在就去找他。"叶剑英带着钱学森他们，驱车来到三座门，果然周总理和一些中央领导同志都在这里，一曲结束，叶剑英趋步走向周总理。总理认真听着叶帅的述说，频频点头，显得十分高兴。"好啊！"周总理说："我很赞同你们的想法。"

于是总理迈着潇洒的步伐，向钱学森走来。他热情地握着钱学森的手说："学森同志，刚才叶帅向我谈了你的想法，我完全赞成。现在交给你一个任务，请你尽快把你的想法，写成一个书面意见，包括如何组建机构，调配人力，需要些什么条件等等，以便提交中央讨论。"钱学森听到周总理称他为"同志"，感到非常亲切，他从总理那炯炯有神的目光中，体会到党和人民对他的信任和重托，显得有点激动。他用力抑制住内心的起伏，只说了两个字："好的。"

钱学森的回答虽然只有简单的两个字，但他第一次听到敬爱的周总理称他为"同志"的情景却令他终身难忘！"同志"，这蕴含了多大的信任和重托！一声"同志"，把这位刚刚归国的学者与祖国、人民的命运紧紧地联系在一起了！"同志"，这是一个多么高尚，多么信赖的称呼啊！在以后的几十年中，甚至直到今天，当社会上又开始流行"先生"、"小姐"的称呼时，钱学森依然称"同志"。他认为，这个称呼是他对别人的最大信任和尊重。

几天以后，也就是 1956 年 2 月 17 日，一份由钱学森起草的关于《建立我国国防航空工业的意见书》(下简称《意见书》)便送到了周总理的案头。当时为保密起见，用"国防航空工业"这个词来代表火箭导弹和后来的航天



技术。

钱学森的《意见书》，提出了我国火箭、导弹事业的组织方案，发展计划和某些具体措施。《意见书》还开列了一批可以调来参与这一事业的21位高级专家名单，其中包括任新民、罗沛霖、梁守槃、庄逢甘、林津、胡海昌等。《意见书》提出，健全的国防航空工业，“除了制造工厂之外，还应该有一个强大的为设计服务的研究及试验单位，也应该有一个作长远及基本研究的单位。自然，这几个部门应该有一个统一领导的机构，作全面规划及安排的工作。”

《意见书》建议：

1. “领导机构应包括科学、工程、军事、政治方面的人员。这个机构设在国防部内”。

2. 作长远及基本研究的单位，“重点放在完全了解一个问题的机理”，“探索新方向”。这种单位“组织上可以在中国科学院系统之内，但同时也归上述领导机构领导。”如“现在科学院内的力学研究所”，其他研究所中的“高温材料研究、电子学研究、计算机研究等；将来很可能再设空气动力学研究所、自动控制研究所等。”“估计这个方面工作的研究人员，在整个系统完成时有600人，其中有副博士水平以上的研究人员120人至150人。”

3. 作设计研究的单位，其任务是“生产新型产品，包括试制及试飞阶段在内。”这是一个“很大的复杂的机构，在整个系统完成时应有技术人员6000人，其中有副博士水平以上的人员500人至600人。”它应该包括：“空气动力学研究所、结构研究所、火箭推进机研究所，冲压推进机研究所，透平式推进机研究所、控制系统研究所、材料研究所、燃料研究所、计算局……”等，共12个研究单位。

4. 生产工厂“是航空生产的一系列工厂”，“包括金属及非金属原料工厂，各种零件制造厂，电器制造厂，燃料工厂，最后才是飞机及飞弹制造厂。”

《意见书》在分析了当时国内航空工业十分落后的现状以后指出：问题是如何“以最迅速的方法，建立起我国国防航空工业的三部分：研究、设计和生产。”

《意见书》建议：

1. 立即在国防部成立航空局，实施全面的规划和领导；



2. 从全国调配力量，组建队伍。《意见书》开列了从 1956 至 1967 年，逐年调来各有关专业毕业生的人数；

3. 争取苏联及其他兄弟国家的援助。

钱学森的意见书，受到了党中央的高度重视。1956 年 3 月 14 日，周总理亲自主持中央军委会议，研究决定由周恩来、聂荣臻和钱学森等筹备组建导弹航空科学研究的领导机构——航空工业委员会。会议决定按照钱学森的建议，组建导弹航空事业的科研机构、设计机构和生产机构。国务院任命聂荣臻为航空工业委员会主任，钱学森为委员。

遵照中央军委的决议，1956 年 5 月 10 日，聂荣臻提出《关于建立我国导弹研究工作的初步意见》(下简称《初步意见》)，建议在航空工业委员会下设导弹管理局，由钱学森任第一副局长兼总工程师；建议建立导弹研究院，由钱学森任院长。中央书记处很快批准了聂荣臻的《初步意见》。中共中央总书记邓小平表示："大家放手去干，成功了，功劳是你们的；失败了，责任由书记处承担。"

于是钱学森立即受命负责组建我国第一个火箭、导弹研究机构——国防部第五研究院。

1956 年 10 月 8 日，正好是钱学森回归祖国一周年的日子，由聂荣臻主持，国防部第五研究院在车道沟兵器招待所宣布成立。在聂荣臻代表国务院、中央军委宣布国防部第五研究院成立以后，接着就由钱学森给刚刚分配来的 156 名大学生讲导弹的基本知识——"导弹概论"。在 1942 年美国加州理工学院火箭和喷气技术训练班授课 14 年之后，钱学森为能在自己的国家培养新中国第一批火箭、导弹技术人才再次授课，感到无比激动。而这批大学生也为自己能亲耳聆听这位世界知名科学家的讲课而感到十分庆幸，他们之中的许多人，后来成为我国火箭、导弹与航天技术队伍的骨干。

多年以后，一些人对钱学森当年的授课仍记忆犹新，他们说，钱学森的课讲得好极了，既通俗易懂，又生动形象。对于这么复杂的尖端技术问题，外行人听了不觉得深奥难懂，专家教授们听了也不感到肤浅平淡。

1957 年 2 月 18 日，周恩来总理签署国务院命令，任命钱学森为国防部第五研究院院长；1957 年 11 月 16 日又任命钱学森兼任国防部第五研究院一分院院长。从此，在周恩来总理、聂荣臻元帅的直接领导下，钱学森开始

了作为新中国火箭、导弹和航天事业技术领导人的长期经历。

国防部第五研究院(下简称五院)成立起来以后,钱学森的工作真可谓千头万绪。他那时才 45 岁,精力充沛。

首先得让人们对导弹有一个初步了解。所以在他的倡导下,导弹技术训练班继续开办下去,他拟定了空气动力学、发动机、弹体结构、自动控制、电子线路、计算机等有关专业的学习计划。除了他亲自授课以外,任新民、梁守槃、庄逢甘、朱正等也给新来的大学生们讲课。

据朱正后来回忆说,他原来是学电讯专业的,并不懂导弹的制导问题,但钱院长却让他给学生们讲这个问题。怎么办?钱学森拿给他一本英文书 *Guidance*,说:"你拿去学习,学懂了再给学生讲。"当时他对英文 Guidance 怎么译都不知道,是钱老告诉他,译作"制导"的。

新中国的导弹事业就是在这种一边学习,一边讲课,一边结合具体工作,开展讨论,边学边干的情况下起步的。于是导弹总体、空气动力学、发动机、弹体结构、推进剂、控制系统、控制元件、无线电、计算机、技术物理等几个研究室逐步建立起来。

钱学森要思考和解决的问题很多,从工作计划制订,场地选择,人员配备,到仪器设备的购置,与科学院的协作分工,请各工业部门的支援,有关大专院校的配合等等,钱学森都亲自出面,找有关领导和专家谈话、协商。他深入第一线,一个问题一个问题地解决,忙而不乱,疏而不漏,工作有序地进行着。

1957 年 9 月,钱学森随聂荣臻赴苏联访问,就新技术援助问题同苏联进行谈判。作为聂老总的科学技术顾问,钱学森同苏方的专家进行了认真仔细的讨论。在总体方面,全面了解苏联火箭导弹的概况、计划规划、组织体制和人员结构;从技术方面,又深入探讨了冲压式发动机、液体火箭高能推进剂、固体火箭的新型固体推进剂、各种大型试验设施和靶机、靶场建设等等;也同苏联专家探讨了中国火箭导弹的发展和苏方可能提供的援助,派遣哪些方面的苏联专家和可能接收的中国留学生等等。

他按照中央规定的方针,聂老总提出的统一口径,和苏方谈判,并要求自己:"该问清楚的问题一定要问清楚。"他还参观了苏联科学院的有关研究所和工业部门的导弹研制机构和设施。



苏联方面当然知道他是一位著名科学家,在空气动力学和火箭导弹方面有很深的造诣,于是邀请他在苏联科学院作学术报告。他以"工程科学"和"工程控制论"为题作了讲演,受到热烈欢迎和高度评价。

1957 年 10 月 15 日,中苏双方签订了新技术协定,规定在 1957 至 1961 年底,苏联将供应我国几种导弹样品和有关技术资料,派遣技术专家,帮助我国进行仿制,并提供导弹研制、发射基地的工程设计,增加接收我国火箭专业留学生的名额等。

社会上曾有一种传言,说钱学森访苏时,曾受到苏联方面的各种限制,说他不是"军人",不准参观苏联的导弹设施。为突破苏方限制,聂荣臻紧急请示中央,经党中央、毛主席"批准",聂荣臻就地"授予"钱学森中将军衔。钱学森晚年曾说:"这是误传。当时中苏关系比较好,我们的谈判也较顺利。有的设施我没看,不是苏方不让看。苏联专家说,那些东西都是仿造美国的,你很熟悉,还用得着看吗?"

应该说,在当时,苏联的援助对提高我国导弹技术发展的起点,缩短仿制周期,培养科研人员等方面都起到了积极作用。所以,访苏归来,五院的重点就转向仿制苏联提供的教学和科研弹 P-1 和 P-2(即后来的"东风-1号"),钱学森也花了很大精力,投人此项工程。

他首先组织科技人员翻译和消化苏联的图纸资料,派遣技术人员向苏联专家跟班学习,并在此基础上组织"反设计"。

他遵照聂老总提出的一定要通过仿制,"爬楼梯",大练兵,向独立设计发展的方针,于 1959 年 10 月 17 日在五院党委扩大会议上提出:"我们现在搞的苏联这种设计方案是 1959 年定案的,它不是一成不变,万年都妥的方案,以后一定有改进的必要。我们应该解放一点思想,建一点自己的设备,以适应将来可能的改进。"所以我们应该是"灵活地学习,而不是死板地学习"。他还以"静力实验"为例指出:"1959 年的中心任务是结合 1059(即 P-2)的仿制工作,掌握静力实验的方法及程序;建设静力实验设备,学会如何进行实验;掌握强度计算的方法等。"并认为,"这是一个从仿制转入自行设计任务的正确途径"。

当工作进行一段时间以后,在 1959 年底,他提出要对前一阶段的情况进行总结,"不限文化水平,只要做了工作,都要写出总结报告。""有些报告



将是比较完整的，如 1059 全部材料的分类整理，火箭推进剂性能汇编等。其中，大多数将是进一步编写火箭设计手册的资料。”

通过仿制，要把全院的业务建设带动起来。为此，他多次找苏联专家谈话，进一步明确发动机过程实验室、强度实验室、材料实验室、弹上测量和计算中心等等的任务，落实各研究室的课题，重新调配各研究室的力量等。

与此同时，全国协作网也逐步形成和建立起来。最大的协作单位是中国科学院。他明确提出分工原则：“科学院主要做前期探索，而五院则重在工程实践。”

钱学森身兼五院院长和科学院力学研究所所长，他专门提出力学所在小型风洞设计、弹道火箭气动力工程计算方法、弹头再入气动力问题、内压薄壳的设计方法、发动机结构强度分析方法等方面的研究课题，并提出力学所人员到五院兼职的处理原则和办法。

他向科学院电子所、十院十四所等单位安排了超远程雷达，弹上小型电子设备的研究项目；找北京航空学院和南京航空学院协调安排小型风洞的建设工程。仅就我国高能燃料和高能推进剂的工作，钱学森就开列了“五院液体发动机研究所、五院固体发动机设计部、中科院大连高能燃料研究所、北京化学研究所、上海有机化学所、中科院兰州分院、力学所、化工部五所和北京工业学院”等参加单位，并指出，主导单位是大连高能燃料研究所。

为解决某些特殊金属材料问题，他找冶金部的领导同志协商；为解决一些大型设备的加工制造，他又找机械部的领导落实；而一些非标准件的特殊加工设施，则安排在五院建设。

为解决好全国大协作问题，他又指出，五院的人员要充分了解全国产业部门、工厂、研究单位和大专院校的情况；对外单位的协作要多听少说，防止泄密；各单位的工作都要有计划，分阶段进行，五院要从总体上加以协调和控制；最终成果要鉴定，要保质保量完成等等。

钱学森也注意到，通过仿制，要把五院的科研管理和各种规章制度逐步建立起来。

他首先注意到要加强设计工作的管理，明确各级设计师和总设计师的职责，院领导不能包办代替设计师的责任。下厂图纸及配套资料一定要有人审查把关，最后由设计师签字，以示负责；工厂一定要按设计图纸加工生



产,不能随便更改。设计人员要下到工厂,解决设计加工中的问题。

钱学森还及时提出设计人员要编写设计手册。"手册的标准要高,文字要清楚,使用的名词、符号要统一。"他还专门细心交待,设计手册"使用的纸张质量要好,不能一碰就破;手册每一页的格式都要规范;手册内的符号以拉丁标准拼音为准,'公斤'用'kg','米'为'm';小图直接画在文字页上,大图另用标准纸;文字用现代口语写,不能文言、口语夹杂"等等。

在仿制1059的同时,地空、岸舰等常规导弹型号的仿制工作也开展起来。钱学森是五院院长,各个型号的工作他都要兼顾。划拨到五院的老航空工厂在进行技术改造,工作区、生活区等各项基本建设在加紧进行。到1960年,几千名领导干部和技术干部,上万名大学生走进了五院的大门,大量的行政事务使钱学森不得分身,甚至连人员的住房分配,食堂和幼儿园的建设都要他这位"院长"亲自过问,但这些事务性工作并非钱学森之所长。与此同时,又有大量技术问题等待他去解决和处理。

在这种情况下,他不得不向领导提出,免去其院长职务。周恩来、聂荣臻等也很快注意到这种情况,他们接到钱学森的请辞报告后,果断决定,配备强有力的行政领导,解决大量行政、后勤事务,把钱学森从这些繁杂事务中解脱出来,让他集中精力思考和解决重大技术问题。

于是1960年3月,国防部任命空军司令员刘亚楼兼任五院院长,空军副司令员王秉璋任五院副院长,主持常务工作。后来,王秉璋又改任五院院长。从此钱学森只任副职,由五院副院长,到七机部副部长,再到国防科委副主任等,专司我国国防科技发展的重大技术问题。钱学森对这种安排十分满意。

钱学森晚年曾说,他出任五院院长时,不知道在中国当"一把手"会有这么多行政后勤事务。他在美国当过喷气推进中心主任,也当过加州理工学院航空系的系主任,但他从不管行政事务,只管科研和教学工作。他要是知道在中国有这么多行政事务,一开始就不会答应当所长和院长了。

由于钱学森1959年已经入党,1960年转正,所以他参加五院党委的工作。

许多人不明白,钱学森在五院的履历为什么是先任院长,后任副院长?他们认为这必是秘书粗心大意,在填表时搞错了。其实这是一个误会,而且



是一个长时间的误会,它来自于人们的一般思维。但是钱学森与众不同,从不考虑他的“地位”问题,也不考虑因此他会降低什么“级别”、“待遇”。他惟一考虑的是党的工作、国家的事业。

1960 年,当我国仿制 P-2 导弹的工作进行到最后阶段时,赫鲁晓夫下令撤走全部苏联专家,这给五院的导弹仿制工作造成了一定困难。

在这种情况下,党中央、毛主席果断决定,要自力更生,发展我国尖端技术。遵照这一精神,聂荣臻指示五院:一定要争口气,依靠我们自己的专家,自力更生,立足国内,仿制 P-2 导弹决不能动摇,无论如何要搞出来。

为了依靠我们自己的专家,尽快造出中国自己的导弹,聂荣臻非常重视发挥科技人员的作用。他多次强调,凡科学技术上的事,只能由科技人员定,其他人不能干预。1960 年 10 月,五院党委还专门就此作出决定。

据此,钱学森这一时期在五院的技术工作中,发挥着突出的作用,重大技术问题都由他决定。他每个星期天下午,把几位总师请到家里,讨论重大技术问题。他按照民主集中制的原则,先请每位老总充分发表意见。对于意见一致的问题,他当即拍板决策;不一致的,如果不是急办的,留待下星期的会议继续讨论;如果是急办的,则由他根据讨论情况,提出解决办法,大家分头去办。在办的过程中,如果发现有行不通的地方,下星期提出来重新讨论。如果办成了,功劳是大家的,失败了,责任由他承担。钱学森说,这种做法十分有效,几位老总都心情舒畅,能畅所欲言。几十年后,大家对那一段工作仍十分怀念。而钱学森也认为,五院工作的一条重要经验,就是在技术工作中,真正贯彻执行了民主集中制的原则。

钱学森和五院全体同志及全国人民一道,自力更生,艰苦奋斗,克服了无数技术的和非技术的难关,解决了苏联人遗留下来的许多难题,终于在 1960 年仿制成功 P-2 导弹。

1960 年 11 月 5 日,钱学森作为 P-2 导弹首次飞行试验委员会委员,在我国酒泉基地,协助聂荣臻,组织实施了这次导弹的发射工作。导弹发射试验成功,现场科技人员和解放军官兵都禁不住热情欢呼,聂荣臻、张爱萍等和钱学森热烈握手,互致庆贺。聂荣臻在致辞中高兴地说:“在祖国的地平线上,飞起了我国自己制造的第一枚导弹,这是我国军事装备史上一个重要的转折点。”



钱学森从 1955 年回国,他怀着一颗拳拳报国之心,参与推动和领导我国导弹事业的创建和发展工作,五年的心血,今日终于有了结果,他感到十分欣慰。同时,他也感到,这样的速度是他在美国都不敢设想的。从中他更认识到党的组织领导的力量,人民群众的力量,而这也更加坚定了他的信念和信心。所以他常说:“一切成就归于党,归于集体。”这是他的肺腑之言。

现在的年轻人不了解当时的情况,当他们听到钱学森说“一切成就归于党,归于集体”时,还以为他在喊“政治口号”,是“穿靴戴帽”式的空话。钱老说,“这不能怪他们,因为他们没那一段经历,不了解我们国家的导弹是怎么搞出来的。比如,我们国家的工业基础十分薄弱,当时连汽车还没造出来,导弹型号就上马了,火箭发动机是在一个工棚里开始研制的。没有精密机床,怎么办?就调来一批‘八级’金工师傅,那些形状复杂的发动机元部件,翻沙出来以后,就是靠金工师傅们的高超手艺,一点一点‘抠’出来的。当时执行试验任务,我们的通信手段也非常落后,基本上是有线通信。而试验任务的通信、指挥和调度等等,又需要占用大量的通信线路。怎么办?除了军用通信以外,还需要占用民用通信,邮电部只好关闭几乎一半的全国通信线路,供发射试验用。为了保证通信线路的安全可靠,把全国的民兵都动员起来了,每个电线杆下站两个民兵,一天 24 小时不间断地值班,直到试验结束。这样大规模的组织调动,没有党的坚强领导,没有成千上万群众的参与,谁能办得到?”

现在,社会上有人常常称钱学森是我国“导弹之父”或“航天之父”。钱老曾多次说明,他不同意这种称呼。他常常说,导弹、航天事业,是一项大规模系统工程,有党的坚强领导,有成千上万人参加。所以,这样的大科学工程,不是哪一个或两个人能完成的。他只是恰逢其时,做了他该做的工作,仅此而已。

20 世纪 60 年代初,导弹的研制试验进入紧张阶段,而这时也正是我国面临三年自然灾害时期,全国人民都生活困难,吃不饱肚子,连毛主席、周总理等党和国家领导人都粮食定量,不吃鱼肉了。但是五院的导弹研制工作正在加紧进行,由于劳累和营养不足,许多人患上了浮肿病。

聂荣臻看在眼里,心急如焚,他不得不亲自出面,给各大军区和各省市领导同志打电话,请他们调拨一些黄豆、带鱼和猪肉等,支援五院的科技人

员，解燃眉之急。

那时实行“大力协同”方针，中央一声令下，全国大力支援。于是一批紧缺的生活物资调来五院，分发给科技人员。由于物资有限，具体操办此事的行政、后勤人员都自觉地不拿不吃。

一次，五院调进一批猪肉。聂办打来电话，专门交代给钱家半边猪。那时并没有电冰箱之类的保存设备，这半边猪肉只得先秤好重量，放在食堂。每次来了猪肉，钱家的炊事员就到食堂割一小块，切成肉末，放在菜里，以便细水长流，渡过难关，一直吃到够半边猪肉的重量为止。

炊事员看到钱院长工作劳累，营养不良，人瘦了许多，心里难受。于是有一天他割了一大块肉，做了一锅红烧肉，想给首长补充点营养。当他把红烧肉端到饭桌上时，平时和颜悦色的钱学森，一下子把脸沉了下来。他严肃地对工作人员说：“你们知不知道，现在全国人民都生活困难，连毛主席、周总理都不吃肉了，你居然给我做红烧肉！党性到哪里去了？”炊事员见首长生了气，而且批评得这么严肃，只好把红烧肉又端下去。

钱学森就这样一方面严格要求自己，坚决和全国人民一道共渡难关。另一方面他还将自己的大笔收入，即他的两部巨著：《物理力学讲义》和《星际航行概论》出版稿酬约 3000 多元，作为党费，转手交给了党小组长。因为他知道，这个时候党困难，国家困难，人民困难，他要和全国人民同甘共苦，共渡难关。而这正是他当年放弃在美国的优厚条件，坚决要求回国的初衷。

在近程的 P-2 导弹（后来命名为“东风-1 号”，也简称“东-1”）即将仿制成功的时候，聂荣臻及时指示五院：“要突破从仿制到独立设计这一关，迅速发展提高，建立我们自己的高技术水平的导弹技术体系。”

作为五院的技术负责人，钱学森立即调整五院技术力量，加强设计队伍，协助聂老总实施这一转变。

从仿制走向自行设计，这是我国导弹技术初期发展中的一个质的飞跃。实现这一飞跃，对我国年轻的导弹研制队伍来说，并不是轻而易举的。尽管在一开始设定的目标只是“迈小步”，先搞中近程的，使之与仿制的“东风-1 号”具有较大的技术继承性，但要独立研制出这样一个型号，会遇到多大困难，当时大家心里并没有底。

面对这一新的任务，钱学森说，他只有找大家商量。



经过民主讨论，总体设计思想和总体方案基本确定下来，即以“东风-1号”为基础，设计上不作大的改动，只将发动机和弹体结构等各方面的尺寸加大一些，使其射程达到中近程（即1000公里左右）的要求。

总体方案一定，各系统便按此开始设计工作。当时，鉴于苏联的背信弃义，五院提出，要尽快搞出我们自己的“争气弹”。全院上下，“变气愤为发奋”，都在为争取我们自己的“争气弹”早日上天而发奋工作。那时尽管生活困难，但若你在晚上走近五院的大院，你会看到办公楼所有的窗户都灯火通明，人人都憋着一口气，在发奋工作。到1962年3月初，仅用了大约1年零4个月的时间，我国自行设计和研制的“东风-2号”导弹就出厂待发了。

1962年3月21日，“东风-2号”（也简称“东-2”）导弹竖立在酒泉发射场的塔架上，随着倒计时的口令：“3、2、1，点火！”导弹腾空而起。

然而，欢腾的人们很快用肉眼就看到，弹身在晃动，接着导弹偏离了轨道，随着“轰”地一声巨响，导弹坠落在离发射塔不远的沙漠上，将戈壁滩炸出了一个大大的弹坑。

全体参试人员大为震惊，既感到万分痛惜，又感到巨大的压力。

在这初次遇到的挫折面前，聂荣臻十分沉着、冷静。他立即安慰大家：科学试验允许失败。并指示各级领导，不要追查责任，重要的是找出失败的原因，以利再战。对于查出故障原因的人，同样要给予奖励。并指定钱学森立即飞赴基地，负责故障的分析。聂荣臻的指示对全体参试人员是极大的安慰，并消除了大家的思想顾虑。

第二天，即3月22日，钱学森率五院有关技术人员赶赴基地。他首先察看了坠落现场，并组织人员收集残骸，作故障分析之用。

经过3个多月的仔细分析、研究，从元部件到各分系统，从各分系统到总体，不知开过多少次大大小小的故障分析会议。又对导弹残骸进行测定，对测量数据进行计算处理和分析等等，故障的原因终于逐渐明晰。钱学森所领导的故障分析小组，对故障原因作了全面的归纳总结：

从总体方案设计看，一是导弹的稳定系统还没有摆脱仿制的束缚，没有考虑加长后的弹体所带来的弹性振动对控制系统的影响，在飞行中弹体的弹性振动，与姿态控制系统发生耦合，导致导弹飞行失控；二是发动机在改进设计时提高了推力，但结构强度不够，导致局部破坏而起火。



但是，这次失败所暴露出来的问题却是多方面的。在工程技术方面，主要是还没有掌握自行设计的规律，对导弹系统工程的复杂性、各分系统的技术协调性认识不足，有些必要的地面试验没有做或做得不够充分，对产品质量检验缺乏科学的标准。

在科研管理方面，没有建立技术责任制，没有制定严格的研制程序和工作制度。

在思想作风方面，急于求成，缺乏科学态度，对基础工作特别是地面试验重视不够，对可能遇到的问题和困难考虑得少，对产品存在的缺陷和隐患没有采取有力措施坚决加以消除。

这个故障分析报告全面而又系统，体现了钱学森的风格，是他后来形成系统工程思想的雏形。

根据这一分析报告，国防部五院重新部署了下一步的工作。主要是：第一，抢建急需的研究试验设施，加强地面试验，把故障消灭在地面上；第二，建立全国协作网，加强预先研究，为独立研制创造必须的物质技术基础；第三，调整科技政策和知识分子政策，调动广大科技人员的积极性，建立健全各项科研管理制度和责任制；第四，重新审查修改设计和组织科研攻关，彻底解决上次试验暴露出来的技术问题。其中，钱学森提出的“把故障消灭在地面”这句话，成为以后我国导弹航天事业的一条重要原则和准绳。

在此期间，钱学森从技术上组织落实五院的几项重大的基础设施建设，如大型火箭发动机试车台、全弹振动试验塔、全弹试车台、超声速风洞等。这些大型设备，每一样都是一个巨大而又复杂的设施。据当时参加这项工程的王永志(他现在是我国“神舟号”宇宙飞船，即 921 工程的总设计师)说：“对于这么庞大而复杂的设备，我们这些年轻人不要说没见过，就是听说都没听说过。怎么办呢？只好去找钱院长请教。”钱学森来到一分院，他给大家讲了一课。王永志说：“我们就是根据钱院长的讲课，根据他在黑板上画的几条曲线，解决了全弹试车台的设计，特别是导流槽的设计问题。”

他还用了相当大的精力，抓五院科研工作的管理，整顿工作秩序，将全院工作纳入科学管理的轨道。他在五院不同场合，多次给大家讲解这种大规模科学技术工作的特点，现代化的组织管理在这种工作中的重要意义；他以器材管理为例，说明管理工作的具体内容和手段；他特别强调数学和计算

机在管理工作中的重要作用。他在五院还亲自抓了计划平衡技术和计划协调技术的应用,并在一、二、三分院搞试点。

他也花费很大精力,协助五院党委建立技术指挥线和行政指挥线,用“系统”的概念,将五院的工作组织起来。他特别强调总体设计部的工作。这项工作如果做好了,就可以实现他在《工程控制论》一书中所阐明的原理,即用不那么可靠的元件,组成一个可靠的系统。这实际上就是中国一句古话:“三个臭皮匠,顶一个诸葛亮”的道理。所以,他常常花费较多的精力,抓总体部的工作。

然而,总体部是科研组织工作中的一个新事务,老专家不懂,新来的年轻人就更不知如何工作了。王永志回忆说,“他们刚到一分院总体部工作时,连总体设计的概念都没有,各方面的技术问题也不会协调。有一次,钱院长来了,他给大家举了一个通俗易懂的例子,说今天天气很热,这个房间温度很高,正好屋里有台电冰箱。于是有人提议,将冰箱门打开,不是可以放出些冷气吗?但是,这个意见是错误的,因为你在通过冰箱不断向室内输送能量。也许你站在冰箱门口会感到有些凉意,但整个室内温度必然升高。这就是局部和整体的关系,局部优化,不等于整体优化。总体设计部的任务就是要做到整体优化。钱院长这个通俗易懂的例子,使我们明确了总体设计部的任务和要求。”

在此基础上,钱学森参与领导制订五院工作条例。1962 年,五院在认真总结经验的基础上,制订和颁发了《国防部第五研究院暂行条例(草案)》,对型号研制与设计工作、研究工作、试制工作、试验工作、技术责任制与科学技术委员会、组织计划与条件保证、政治工作、党的组织与工作等都作了明确的规定。使五院的各项工作,进一步走上了正规化、科学化的轨道。

鉴于“东风-2 号”第一次试验失败的教训,聂荣臻提出要加强预先研究,按照导弹系统工程的特点,提出了“三步棋”的原则,即在同一时间内,至少要看三步棋,有三个层次的型号:一种是在探索研究的;一种是正在设计和试制的;一种是定型后小批生产的。为此五院成立科学技术委员会,钱学森任主任委员。科技委下设若干专业组,专业组按型号研制工作的需要,制订本专业的科研规划,安排预研课题。由此,预研工作得到加强,为进入型号研制储备了足够的技术,也为以后的型号研制打下了坚实的基础。

从 1962 年到 1964 年，国防部五院认真贯彻调整的方针，缩短了研制战线，进一步集中力量，突破“东风 2 号”的技术难关。针对试验中暴露出来的问题，重新审查、修改了总体方案，各分系统开展了大量的研究工作。经过修改设计后研制出的导弹产品，先后通过了 17 项大型地面试验，需要解决的技术问题都基本解决，钱学森和广大技术人员都对即将进行的发射试验充满了信心。

1964 年 6 月 29 日，钱学森协助张爱萍，在 20 基地组织我国第一个自行设计的中近程导弹再次进行发射试验。6 月下旬的戈壁滩，烈日炎炎，骄阳似火。干燥的热浪，拂去了人们身上的汗水，在衣背上留下一道道白色的汗渍。钱学森顶着烈日，不断查看测试现场，听取各单元测试的汇报，现场协调和处置各种技术问题。突然他接到“东-2”总师林津的汇报，说高温导致导弹达不到原来的射程。但这时，落区的测量网点都已安排就绪，如果导弹达不到原定的射程，落区的测量设备就什么数据也测不到了。怎么办？这一突如其来的情况，事先谁也没有预料到。钱学森和全体参试人员一样，都在苦苦思索着解决的办法。

这时许多人提出用增加推进剂的办法，延长火箭发动机工作的时间来增大射程。这是按通常的思维方法所采取的措施。问题是推进剂储箱的容积已定，没有多少空间再容纳更多的推进剂了，所以这个办法实际上是行不通的。

就在这时，年轻的设计人员王永志提出了一个截然相反的办法。他说可否减少推进剂，这样就减轻了起飞重量，也减少了发动机熄火点的推进剂“死重”，这不是也可以提高射程吗？这就归结为在高温条件下推进剂加注的混合比（即液氧和酒精的比例）的计算问题了。但在计算混合比时，若想得到新的更加准确的结果，必须打破液化气体——液氧的温度（摄氏零下 183 度）是恒定不变的观念。王永志根据这一思路反复计算核对，证明可以泄出 600 公斤酒精，使导弹的起飞重量大大减轻，达到原定的射程。

由于王永志的意见与一般的思路正好相反，许多人都不理会他的办法。在这种情况下，他鼓足勇气，直接去向钱院长汇报。

王永志说，使他大为惊奇的是，这位大科学家一点也没小看他这个试验队中军衔最低的年轻中尉。钱学森听得认真仔细，对他的计算方法不时提



出问题，让他讲清楚。当他听完王永志的汇报以后，立即叫来"东-2"的总师林津说："王永志的意见正确，按他的办法实施。"

结果，这枚经过挫折，历经两年多努力，又在试验现场克服重重技术难关的导弹，终于发射试验成功了。张爱萍激动得禁不住和钱学森热情握手和拥抱，并情不自禁地高呼"科学万岁"，"科学家万岁"的口号。现场的技术人员和执行发射任务的解放军指战员也都激动得热泪盈眶。

这次成功的试验，揭开了我国火箭、导弹发展史上新的一页。接着，7月至10月间，又先后多次进行了这个型号的发射试验，均获得成功。

通过中近程导弹的研制，我国的研制队伍受到了很大的锻炼，初步摸索到自行设计的规律，掌握了导弹从提出任务、总体设计、工程研制，直到飞行试验的主要程序、工作内容和方法，不仅为后来研制新型火箭导弹奠定了基础，而且大大增强了独立发展我国导弹技术的信心和勇气。

1962年11月，刘少奇在一次中央会议上宣布，成立以周恩来为首的、由各有关部门负责人参加的中央专门委员会(以下简称中央专委)，负责领导我国国防尖端技术事业。钱学森虽不是中央专委成员，但他多次列席中央专委会议，目睹了周总理平易近人的民主作风，又看到了周总理在意见繁杂，众说不一情况下高超的集中艺术，对他教育至深。他以周总理为榜样，在工作中既注意充分发扬民主，又敢于在复杂情况下大胆决策。他认为，民主集中制是我国导弹、航天事业取得成功的一条重要经验。

"东风-2号"的研制和发射成功，标志着我国已经基本上掌握了独立研制导弹的一套复杂技术，也标志着1957年制订的12年科学规划的提前完成。下一步就是要制订我国导弹事业的长远发展规划了，五院党委指定钱学森负责这一规划的制订工作。

在制订规划的前期，钱学森曾组织有关专家，就我国地地导弹的发展道路问题展开讨论，为制订具体的规划明确方向。当时世界上只有美苏两家先例，美国人走的是大推力发动机的路子，而苏联走的是捆绑的路子。我国地地弹的发展道路是什么？对此，也有争论，钱学森坚持从我国国情出发，独立思考，走自己的路。经过讨论，最后形成并提出了《我国地地弹发展途径的意见》。

在此基础上，五院又发动了有设计、生产、使用部门的工人，技术人员和

领导干部 3000 多人参加的规划方案讨论，在充分发扬技术民主的基础上，最后形成了从 1964 至 1972 年研制出“东风-2 号甲”中近程导弹，“东风-3 号”中程导弹，“东风-4 号”中远程导弹和“东风-5 号”洲际导弹的长远发展规划，此称《8 年 4 弹规划》。

按照这一规划和常规型号的研制、生产任务，五院今后的工作将有很大的发展。1965 年，中央根据五院今后的任务需要，在充实了试制、生产力量以后，撤销了五院的建制，成立第七机械工业部(下简称七机部)，由王秉璋任部长，钱学森等任副部长。

七机部成立以后，摊子更大，任务也更重了。钱学森这时除了抓地地弹以外，“红旗”型号的地空弹，“海鹰”型号的岸舰导弹，以及更长远一些的固体发动机、固体导弹、反导系统和运载火箭及卫星等，也都陆续上马。其中“红旗-1 号”、“红旗-2 号”及“海鹰”型号这时已仿制、试验成功，主要是定型及批量生产问题，及生产中的质量和可靠性保障问题。他听取各方面的汇报，协调解决各种型号在研制、试验、定型、生产中的各种问题。对于装备部队以后的训练、使用和维修管理问题，他和七机部的人员也要从技术上给予支持。

由于钱学森和五院广大科技人员卓有成效的工作和积极的支持配合，20 世纪 60 年代，我空军部队使用新装备的国产“红旗-2 号”地空导弹，曾多次击落侵犯我领空的 U-2 高空侦察机。实战证明国产“红旗-2 号”地空导弹的作战使用性能良好。

但这时，钱学森花费精力较多的，是解决“两弹”结合试验中的各种问题。

在本国的国土上进行原子弹和导弹这“两弹”结合的飞行爆炸试验，是史无前例的新事物，需要解决一系列的问题，特别是安全问题。要确保核弹头在未解除保险时，即使发生各种异常状态，也不会发生核爆炸。这个问题对于我们国家尤为突出。因为美国进行此类试验可以在海外基地，面苏联的西伯利亚是大片荒无人烟的地区。可我们国家导弹的弹道不得不穿过有人居住区，若安全问题没有十二万分的把握，万一原子弹被引爆，那不等于我们在自己的头顶上丢了一颗原子弹吗？那还了得！然而，为了使原子弹、导弹真正成为实战武器，这种试验在没有前人经验可资借鉴的情况又非进



行不可。钱学森担任两弹结合飞行爆炸试验的技术总负责人,他所承受的压力之大可想而知。

为此,七机部和二机部合作,在国防科委的统一指挥下,要组织进行若干次以严格检验导弹及其核弹头的安全性和可靠性为目标的飞行"冷"试验(不装核燃料);在确有把握的基础上,再进行"热"试验(装核燃料)。

当时曾考虑了各种可能的意外情况,并提出进行燃烧试验和撞击试验等;在发生意外情况下的自毁也有好几套方案,如弹头自毁方案;弹体自毁方案;弹头弹体都毁的方案;或弹头毁而弹身不毁;弹身毁而弹头不毁。这又分两种情况,即弹头不脱离弹身,则保险;如弹头脱离,过载达不到15g怎么办?这个问题要研究。弹如未发射出去,又叫回加温车,弹头温度可能降到极限,则因低温而报废,这也要设法解决。计划之周密详尽真可谓史无前例。钱学森和二、七机部科技人员为此花费了大量心血,一个一个地解决了这些试验中出现的始料未及的各种问题。

在十分艰巨地通过了这一系列地面试验以后,钱学森在1965年12月份和1966年上半年,两次飞赴基地,又组织了两批多发"东-2甲"的安全可靠性飞行试验。在试验前聂荣臻一再叮嘱:一定要专心搞好试验,不要受"文化大革命"的干扰,脑子不能开小差,心不二用。与以往不同的是,这一回钱学森每次出发,聂荣臻都亲自送行,紧紧握住他的手,并投以信任的目光。钱学森向聂老总点头示意。老帅的信任给了他极大的鼓舞和信心,他们的默契和由此产生的巨大动力,常常就在这一刹那的不言之中。

试验证明,"东-2甲"的方案是完全正确的。但试验中也暴露出在产品的质量,特别是安全可靠性方面,还存在不少问题或隐患,必须在"热"试验以前逐个加以解决。钱学森在动员会上多次强调,这是一个新事物,无先例可循。并引用毛主席语录:"我们正在做我们的前人从来没有做过的极其伟大光荣的事业。我们的目的一定要达到,我们的目的一定能够达到"来教育和鼓舞大家,并和大家一起,扎实而又细致地工作,排除一个一个具体的故障或隐患,做到"不调不换,打好打准"。

一枚导弹上的元器件多至成千上万,只要一个零件出现故障,都可能影响到导弹的安全可靠性。他遵照周总理提出的"严肃认真,周到细致,稳妥可靠,万无一失"的要求,不放过试验中出现的任何一点差错。为此,他在

1966 年 7 月 11 日的《工作手册》中，以表格的方式，详细开列了“外协配套仪器存在的主要问题”。这些问题，从大的方面分类，计有质量问题，保管期不足或无保管期，环境试验不正规，储存期问题，订货难问题等等共 10 多项；细目则多达好几百项，包括晶体管、电位器、开关、插头插座、电容器、舵机、稳频器、螺钉螺帽，以及某些金属和非金属材料问题等等。

对于这些问题，无论其大小，钱学森都极其认真地对待，并一一指定具体负责人去落实解决，解决的情况也要一一向他汇报。他还指出，该做的试验，一定要在出厂前做好，不能等到产品抵达基地以后再做。

即使进行了这么认真细致的准备，为防万一，导弹弹道经过地区的人民群众还是要疏散到安全地区去。当时人民群众的政治觉悟都很高，党组织一声令下，大家都毫无怨言地疏散到指定的地点。但其中也有一个单位，干部群众不愿疏散。国防科委和七机部的领导多次去做工作，也未把大家说服。他们的理由也很简单，说：“我们相信你们解放军，不会有事的。”眼看试验日期就要到了，大家都心急如火，怎么办呢？钱学森在听取汇报时了解到这个情况。于是他亲自来到这个单位，做大家的工作。听说这么大的科学家要亲自登门，干部群众都非常高兴。钱学森亲切地对他们说：“你们不是相信解放军吗？那好，我们解放军办事有一个原则，那就是不怕一万，就怕万一，我们用这种认真负责的精神取得了人民群众的信任。我今天告诉大家，现在不是万分之一，而是千分之一，千分之二，你们说该不该考虑，该不该疏散哪？”就这么几句话，做通了干部群众的工作。

1966 年，“文化大革命”已经开始。二、七机部广大科技人员、工人和国防科委试验基地的解放军指战员，在周恩来、聂荣臻的直接领导下，排除了各种干扰，解决了一个又一个技术问题。于是在 1966 年 10 月 27 日，钱学森、张震寰等协助聂荣臻，在导弹核试验基地，主持了我国装有核弹头的中近程地地导弹的发射试验。

又一个与以往极大的不同是，在试验前，毛主席亲自接见聂荣臻，听取他的汇报，这可是从来没有的事。在过去，毛主席是从不过问这些具体事情的，一切交由周总理去办，对于周恩来的精明和细心他是完全信赖的。但这一次非同寻常，即使“文化大革命”这样的政治运动正处于高潮，他老人家也不得不亲自出马，过问这一重大试验任务。当他听完聂荣臻的汇报以后，非



常高兴地说:“你是常胜将军了,这一次又准备得这么充分细致,我看没问题,祝你再次得胜回朝。”

由于试验前认真做到了“四不带”:即人员不带思想问题进场;仪器设备不带问题参战;部件不带问题出技术阵地;产品不带问题上天。以及高标准、严要求、打准、打好等,所以导弹发射成功,核弹头在预定的地点上空实现了核爆炸,试验获得圆满成功。

毛主席在听到试验成功的消息以后,兴奋地说:“谁说中国人搞不出导弹核武器?现在不是搞成了吗?赫鲁晓夫不给我们这些尖端技术,极好,逼得我们自己干出来,我看要给赫鲁晓夫一个一吨重的勋章!”

1967 年 4 月,钱学森在七机部《关于“导弹核武器飞行试验工作总结”报告》上批示肯定:“这也是我们做得比较好的试验工作。”

这次试验使我国的国防现代化建设又向前迈进了一大步。第二天,即 1966 年 10 月 28 日,美国《纽约时报》用这样的文字报道了这一重大事件:“一位 15 年中在美国接受教育、培养、鼓励并成为科学名流的人,负责了这项试验,这是对冷战历史的嘲弄。在 1950～1955 年的 5 年中,美国政府成为这位科学家的迫害者,将他视为异己的共产党分子予以拘捕,并试图改变他的思想,违背他的意愿滞留他,最后才放逐他出境,回到自己的祖国。”

* * * *

“东风-3 号”(也简称“东-3”)是从 1964 年开始研制的中程弹道导弹。这个型号可以说是完全由我们自己独立设计制造的,它采用了一系列新的技术,如可储存液体推进剂、全惯性制导系统和 4 机并联发动机技术等。由于贯彻了聂荣臻提出的“三步棋”原则,钱学森提早安排的预研课题,到这时都已见成果,为这个型号上马奠定了基础。但这并不等于说,这个型号的研制就一帆风顺。相反,由于我们采用了当时的新技术,向前迈出了一大步,所以在研制过程中也遇到许多技术难关。

在一些关键技术攻关过程中,钱学森也贡献了他的知识和智慧。比如,在“东风-3 号”发动机试车过程中,不断出现故障,总也过不了关。前一次试验中的问题解决了,再往前走一步,又有新的问题发生。在这种情况下,钱学森来到试车台。他在细心观察历次故障情况,并听取汇报以后,沉思良久,并未马上说话。在场的人员心情都有些沉重,他们以期待的目光,看着

来回踱步的钱学森。他经过深思，然后回过头对在场的技术人员说："我们不能总让故障牵着走，大家是不是回过头来想想，有什么根本问题在影响着发动机的燃烧稳定性？是不是应该考虑高频振荡问题？"他的话点破了这一技术难题，启示了在场的科技人员。他们在考虑了高频振荡频率与燃气生成频率相耦合产生共振的影响以后，采取了隔板和液相分区等技术措施，改进了发动机的设计。又经多次试验，解决了不稳定燃烧的问题。从此，"东风-3号"发动机试车顺利过关。这一重大技术问题的解决，也为后来新型发动机的研制提供了重要经验。

由于有预研成果的技术储备，"东风-3号"的研制从总体上说还是比较顺利的。到1966年末，第一发"东-3"就运抵基地待发射了。

钱学森在11月初就到达基地，察看发射前的测试和合练情况。对测试中出现的各种大大小小的问题及改进措施，他都一一过问并作了详细记载。如："在单元测试中发现速率陀螺参数有5%的变化，原设想是3%，变化偏大，不理想。措施是在变换放大器中调一调；一舵机补偿电流不稳定，但在合格范围内；三舵机渗油，要换；发动机及箱体测试项目少，气密性好。但也发现氧化剂的加注活门有点漏气，每分钟有一个小气泡，可以用；电爆管有的不好，已换。遥测系统和弹上计算装置等等也有些问题。"

钱学森对测试中出现的每一个细小的问题都极为认真，不允许有丝毫疏忽。当年参加试验工作的一位老同志说，当他向钱老汇报，说氧化剂的加注活门有点漏气时，钱老立即问："有多大点漏气？你们测过没有？"我说："没有。"于是钱老严肃地说："你马上回去测量，测完了再向我汇报。"我遵照钱老的指示，又回到阵地。经反复测量，每分钟一个小气泡，在允许范围之内。于是再回来向钱老报告，他才放心地点头。

钱学森在12月18日的总结中说，前一段我们的工作有些被动。他要求七机部各试验分队的领导，一定要配合技术阵地测试，及时了解情况，对出现的问题一一作出解释或解决。

同时他也发现，基地的干部、战士工作是认真的，试验分队也是认真的。问题在于发射阵地的领导对发射系统的复杂性认识不足，尤其是对可能出现故障的时候，如何统一指挥的问题认识不足。所以他强调，一定要加强合练，七机部的人一定要定岗位，对试验基地一中队的指挥员，一个盯一个地



干。

1966 年 12 月 25 日，聂荣臻亲赴基地。钱学森向他作了详细汇报，并陪同聂荣臻主持这次发射工作。26 日 11 时，首发“东-3”导弹点火发射，但飞行到 111.2 秒时，发动机二分机推力突然大幅度下降，致使弹头实际落点与理论值偏差很大。

1966 年 12 月 27 日，钱学森在技术阵地与七机部“东-3”试验队的同志座谈，对这次试验进行现场总结。他说，第一发“东-3”的发射试验，证明导弹各系统工作协调，飞行参数符合设计要求，作为研制方案，是成功的。但也暴露了问题，由于动力系统的问题，落点偏差过大。关于这个结论，他请示了聂副主席，聂老总表示同意并指出，这是研制试验，第一发这个地方出问题，第二发可能另一个地方出问题，要不断总结，不断改进。接着，钱学森调整了七机部试验队，并部署了第二发“东-3”的试验任务。

第 2 发“东风-3 号”在 1967 年 1 月 12 日点火发射，当飞行到 129.2 秒时，发动机二分机推力又下降，弹头落点的偏差也较大。为此，钱学森在 1967 年 2 月 7 日召开了“东-3”的故障分析会。

这时，由于“文化大革命”的干扰和破坏，正常的组织机构已无法行使职能，由各级造反派当头，所以这个会叫“东-3 串联会议”。在这种困难形势下，钱学森仍顶住压力，排除干扰，和负责“东-3”的科技人员一道，一一排除了发动机故障的疑点，找到了燃烧室破裂的原因，提出了产品改进的意见。

经改进后的“东风-3 号”导弹共三发，于 1967 年 5 月运抵基地。5 月 19 日，第三发弹进入发射程序，但发现气管连接插座底板变形，不能给推进剂储箱加压，先后两次中止发射。在这种情况下，只好再召钱学森亲赴基地。

24 日钱学森到达基地，便立即组织技术人员进行故障分析和现场技术处置。由钱学森坐镇，指挥技术人员一一排除故障。对有的技术问题，他则运用自己的知识，大胆现场处置和决策。比如，在推迟发射，泄出推进剂时，由于操作人员思想过于紧张，忘了开通气阀，造成导弹箱体内真空，在大气压力的作用下，弹体瘪进去一块。在场的人看了都十分紧张，认为这是一个大故障，导弹不能发射。

钱学森听完汇报，并亲自爬到发射架上，察看故障情况以后，认为壳体的变形并未达到结构损伤的程度。他结合自己在美国做圆柱壳体研究的经



验认为，点火发射后，箱体内要充气，弹体内压力会升高，壳体就会恢复原来的形状，所以他主张发射照常进行。当时由于参试人员，也包括试验基地的指挥员从未经历过这种情况，所以钱学森讲的虽然很有道理，但大家仍心存疑虑，意见得不到统一，最后只好由钱学森署名，将这一情况向聂荣臻报告。聂老总看了钱学森的报告以后表示："这是一个技术问题。既然技术上由钱学森负责，他说可以发射，我同意。"5 月 26 日和 6 月 10 日，"东风-3 号"导弹 01 批第 3、4 发弹先后发射成功，这为我国后续的"东风-4 号"和"东风-5 号"导弹的研制和发射开拓了道路。

* * * *

我国第一颗人造地球卫星是 1970 年发射的，而第一颗人造卫星作为型号是 1965 年正式开始研制的。然而，钱学森探索人造卫星的工作早在这以前就开始了。

1958 年 5 月 17 日，毛主席在中国共产党八届二次会议上宣布："我们也要搞人造卫星！"此后，钱学森便一直在思考我国卫星事业的发展问题。

1958 年，中国科学院成立以钱学森为组长，赵九章和卫一清为副组长的领导小组，负责筹建人造卫星、运载火箭以及卫星探测仪器的设计和空间物理研究的机构。

1961 年 6 月，在钱学森、赵九章等人的倡导下，中国科学院开始举办了持续 12 次的星际航行座谈会。在第一次座谈会上，钱学森发表了题为《今天苏联及美国星际航行火箭动力及其展望》的讲演。他在讲演中除了介绍苏美火箭发展的情况以外，还从科学上指出："在航空飞行中，我们总是同空气动力打交道；而在星际航行中，由于飞出了地球稠密大气层，气动力问题是次要的，起主要作用的是重力、推力及惯性力问题。"所以，"重力场问题非常重要。所谓最优发射轨道，最优飞行轨道问题，主要是尽最大可能，使重力垂直于轨道，使推力垂直于重力。所以，在星际航行中，我们会遇到一些全新的问题。"

1963 年，中国科学院成立了由竺可桢、裴丽生、钱学森、赵九章领导的星际航行委员会，负责组织制订星际航行发展规划，安排预先研究课题。

钱学森作为一名战略科学家和我国航天事业的最高技术负责人，提出了我国人造卫星工程的顶层设计方案。他提出，先放探空火箭和气象火箭，



为研制运载火箭和放卫星储备技术，积累经验。气象及大气研究的传感器由地球物理所负责；生物及生物实验传感器由生物物理所负责；火箭探测头的测量程序盘及电源、自动装置由自动化所负责；气象火箭及火箭的头部结构由上海机电设计院负责；飞行动力学安排力学所、数学所研究等等。

到 1964 年，我们自己独立设计和研制的“东-2”导弹试验成功，探空火箭也有了几次成果以后，钱学森感到发射人造卫星已经有了比较可靠的基础，于是在 1965 年 1 月 8 日，他正式向国家提出报告，建议早日制订我国人造卫星的研究计划并列入国家任务。

钱学森在报告中指出：“自从苏联在 1957 年 10 月 4 日发射第一颗人造地球卫星以来，中国科学院及原第五研究院对这项新技术就有些考虑，但未作为研制任务。现在看来，人造卫星有以下几种已经明确的用途：测地卫星、通讯及广播卫星、预警卫星、气象卫星、导航卫星、侦察卫星。重量更大的载人卫星在国际上的应用，现在虽然还不十分明确，但也得有所准备。现在我国弹道式导弹已有一定的基础，现有型号进一步发展，即能发射 100 公斤左右重量的仪器卫星。这些工作是复杂艰巨的，必须及早开展有关的研究、研制工作，才能到时拿出东西。因此建议国家早日制订我国人造卫星的研究计划，列人国家任务，促进这项重大的国防科学技术的发展。”

聂荣臻很重视钱学森的建议，指出“只要力量上有可能，就要积极去搞。”

1965 年 4 月 29 日，国防科委向中央专门委员会报告了张爱萍邀请张劲夫、钱学森、孙俊人及国家科委、国防工办专业局的负责同志和专家进行研究的结果，提出了在 1970 年或 1971 年发射我国重量为 100 公斤左右的第一颗人造地球卫星的设想。

中央专门委员会于 1965 年 5 月 4、5 日召开的第 12 次会议和 8 月 9、10 日召开的第 13 次会议，原则批准了我国第一颗人造卫星的规划方案，以及争取在 1970 年左右发射我国第一颗人造卫星的设想。

由于钱学森的建议是 1965 年 1 月提出的，所以，第一颗人造卫星的工程代号为“651 工程”。

开始，651 工程在总体上的分工是：中国科学院搞卫星和地面跟踪测量系统；七机部搞运载火箭；国防科委的 20 基地搞地面发射设备（其后地面跟

踪测量系统也划归国防科委试验基地负责)。

但是,卫星工程上马不久,就赶上“文化大革命”。中国科学院是地方单位,又是知识分子比较集中的地方,所以首当其冲受到破坏。

为了保证卫星工程顺利进行,1966 年 12 月,中央专委决定将卫星研制任务改由国防科委全面负责。1968 年 2 月,国务院、中央军委批准国防科委组建空间技术研究院,将科学院原来从事卫星工程的单位划归空间技术研究院,担负卫星研制任务,并任命钱学森兼任空间技术研究院首任院长。到 1969 年 9 月 15 日,周总理在一次小专委会上明确指定:“651 总抓,由国防科委负责,钱学森参加”。所以,在 651 工程中,钱学森实际上是担负大总体,即星-箭-地面系统三大方面总的技术协调和组织实施工作。

在运载火箭方面,钱学森提出了一个更为快捷的实施方案。他不主张专为发射人造卫星设计研制运载火箭。他建议充分利用已有导弹和探空火箭的技术基础,将二者结合起来,组成发射卫星的运载火箭。他认为,走这个路子可以大大缩短研制时间和人力物力。后来的事实证明,他的这个研制思路是完全正确的。所以发射第一颗人造卫星的“长征-1 号”火箭是在“东风-4 号”弹的基础上,在上面加一个固体的第三级火箭组成的。

“东风-4 号”和“长征-1 号”实际上是同时开始研制的。钱学森认为,“东风-4 号”和“长征-1 号”是在综合了“东风-3 号”技术成就和设计概念的基础上搞起来的,新的因素是高空点火和两级分离。照理说,这个型号是有了比较好的技术基础的。

但由于“文化大革命”的干扰,一些领导干部和老专家被打倒,七机部 915、916 两派的斗争十分激烈,甚至派性斗争也渗入到技术工作之中,常常使研制工作无法进行。

周总理只好遵照毛主席的指示,宣布对七机部实行军管,并对钱学森等一批老专家进行保护。由于钱学森是世界著名科学家,又受到毛主席、周总理的保护,所以两派都不敢揪斗他。因此,在“文化大革命”期间,钱学森发挥着一种与众不同的特殊作用。他虽然负责技术工作,但也得常常陪同军管会负责人,接待“造反派”,做群众工作,以示他对军管会的支持。甚至有时在深夜,有时在凌晨,只要造反派闹到北京,他们就立即接见,耐心说服。

1967 年,中国的“文化大革命”运动发生了两件大事:一是在所谓“上海



一月风暴”的推动下，全国“造反派”掀起了一场“夺权”高潮，七机部也被“造反派”夺了权；国防科委是军队单位，未发生夺权事件。但接着开始的批判所谓的“二月逆流”事件，却把国防科委主任聂荣臻同志也打倒了。一时间，人造卫星及其运载火箭的研制工作陷入了困境。周恩来心急如焚，他在一次讲话中要求国防科委领导同志要顶住压力，挺直腰杆抓工作。不能因为“二月逆流”把大家都搞得灰溜溜的。

在这种情况下，1968年2月8日，国防科委召开651工程会议，鉴于当时科研和生产形势十分严峻，会议决定各单位召开“抓革命，促生产”动员大会，并指定钱学森去七机部一院动员。

2月9日，钱学森在一院召开了“东风-4号”和“长征-1号”动员大会。他刚一开始讲话，就有一个“造反派”站起来打断他的讲话，说：“你们名义上说抓革命，促生产，实际上是以生产压革命，阻止我们对聂荣臻的批判。”钱学森见来者不善，立即提高嗓门儿说：“我今天是受毛主席、周总理的委派来召开这个大会的。651工程是毛主席亲自批准的，这是他老人家对我们的最大信任，最大鼓励，也是最大的鞭策。我们不能辜负毛主席的期望。两派一定要联合起来，抢时间，保质、保量完成‘东风-4号’和‘长征-1号’任务。谁要是在这个问题上闹派性，影响了卫星上天，那就是政治问题，是对毛主席的不忠。”他的话一时间把那些还想“造反”的人都镇住了。接着他要求两派头头都要在会上对这个“大是大非问题”表态。动员大会基本成功，“派性”暂时受到扼制。

尔后他又在1968年3月6日到一院听取“东风-4号”和“长征-1号”技术问题汇报，并部署下一步工作。钱学森在会上提出：“总的要求是卫星不放则已，一放就成功。”他再次明确指出，一院是“长征-1号”的抓总单位，四院的固体发动机也归这个口，协作配套问题，一院要主动与各有关单位协调。

他也提请“长征-1号”总体部和总设计师考虑：“二、三级滑行段姿态控制系统是否要做环境模拟试验？在失重条件下的晃动问题，力矩是多少？12所是否要兼搞气执行元件及气控系统？”并说，这是一院的新问题了，将来也联系到弹头的工作。他还嘱咐：“北京科仪厂有一批试验阀门，要按时完成，不能停下来；梅林化工厂的小电池研制工作要落实”等等。

按照钱学森的部署，6 月下旬，为解决滑行段喷管控制问题，七机部一院进行了滑行段晃动半实物仿真试验，结果出现了晃动幅值达几十米的异常现象，这使科研设计人员十分震惊。

钱学森亲临现场，在讨论中众说纷纭的情况下，他十分有把握地认定："滑行段在近于失重状态下，原晃动模型已不成立，此时流体已呈粉末状态，晃动力应该很小。所以地面上进行的这种模拟实验，并不代表空间运行的真实情况，不会影响飞行。"后来多次飞行试验证明，这个大胆的结论是正确的。

到 1969 年，由于动乱，"长征-1 号"试车无法进行。1969 年 7 月 17 日、18 日、19 日和 25 日，周恩来总理 4 次召开会议，解决地面试车问题，并委派钱学森协同七机部军管会副主任杨国宇，全权处理有关试车事宜。钱学森来到试车台，他和杨国宇一起，费尽了口舌，耐心做两派群众的工作，有时还不得不和个别人展开激烈辩论。钱学森的辩论口才众所周知，加之他身份特殊，且论之有理，个别造反派头头在他面前也不得不有所顾忌和收敛。

经过艰苦的工作，在 1969 年的 7、8 月份，"长征-1 号"连续进行一、二级，二级，二、三级和三级 4 次发动机全推力下的试车。钱学森每次都亲临现场，他不仅要做群众的思想工作，更要密切关注试车中的技术问题。在那个特殊的动乱年月，有时技术问题和派性问题又搅和在一起，真是越搅越乱。比如关于"长征-1 号"的陀螺抗振问题，钱学森在专委会上向周总理汇报时指出，实际上是两派在争斗，所以得不出统一认识，问题一直拖着不得解决。周总理立即指出："不论 915 还是 916，两派都不能用这件事争长短"。遵照周总理的指示，钱学森协助军管会主任张翼翔做两派的工作。经过艰巨的努力，好不容易才统一了认识。

在排除派性的干扰以后，对技术问题，钱学森作结论说："我们在'长征-1 号'的陀螺工作中，有两个问题没认识到：一是对抗振问题没有认识到'扫描'试验的重要性，也就是对抗随机振动没有认真研究；二是对发射卫星的要求未加仔细研究，把发射卫星同打导弹等同起来，这也是不对的"。他说："这些问题的出现，一方面是由于我们没有实践经验，另一方面也是由于我们没有过细地做工作，必须引以为戒。"既然找到了出现问题的原因，他要求两派就要团结起来，共同努力解决。经过这一系列艰苦细致的思想工作和



技术工作，才保证试车得以在8月22日取得成功，这在当时也算是一件大事，周总理为此向七机部表示祝贺。

1970年元月，"东风-4号"发射成功，并顺利实现高空点火和两级分离。至此，第一颗人造卫星的运载火箭问题基本解决。

在卫星方面，钱学森的任务也是十分繁重的。他在"文化大革命"的高潮中出任空间技术研究院(按新编序列是"五院")院长，可以说是受命于危难之际。他首先得把五院的机构组建起来。考虑到科学院划拨过来的人员在总体设计方面相对薄弱一些，他立即从一院总体部调来孙家栋等少数人员，加强总体设计的力量。

他说："先把'东方红'卫星的工作组织起来，成为一部分总体工作；再调王希季来，把返回式卫星'尖兵'型号的工作组织起来，成为另一部分的总体工作，以便为成立总体部创造条件。"

他还提出，总体部的人知识面要广，既要懂工程上的问题，又要有比较广博的科技知识。学工的人知识面狭，而学理的人基础知识面较宽，这正是来自科学院的人员的优势，要让他们尽快熟悉工程上的问题，从中培养出一批适合搞总体设计的人员。

为了使五院尽快走上轨道，钱学森抓的第二项工作是规划问题。

原来科学院对卫星问题曾有过规划。新五院成立起来以后，要按照新的形势和要求，对过去的规划进行清理，明确五院的卫星重点是为国防和国民经济服务，兼顾空间探索。因此应用卫星被列为重点。目前的中心任务是保证"东方红"卫星上天，"尖兵"也被列入重点。导航卫星、气象卫星、通信卫星则往后排，载人飞船当时命名为"曙光号"，则作探索性研究。

与此同时，五院的基本设施建设，如热真空模拟室也在加紧建造。在原有2米直径的KM-2热真空模拟室的基础上，再建一个7米直径的KM-4。由于建这种设施费用很高，其中最贵的太阳模拟灯，约占全部费用的1/3。钱学森提出，是不是非模拟太阳不可？能不能用石英灯出烤来加热？他从资料中得知，美国9米直径以上的设备，有半数是用石英灯的。但是问题在于石英灯不能模拟日光光谱，因此对材料的作用与真实情况相比，可能就有所不同。他提出解决的办法是在KM-4中既有日光灯又有石英灯，这样，它们既可以互为备份，又可以进行比较，以便将来得出只用石英灯的办法。这

是一个创新建议。

第一颗人造卫星在一定意义上可以说是一颗“政治卫星”。所以对钱学森压力最大的，莫过于“一次成功”的要求，要一次成功地送上天，还要求卫星运行轨道尽量覆盖全球，让世界人民听得到，看得见。周总理也多次要求，要过细的工作，做到万无一失。这些要求归结到一点，就是这一套复杂系统工程设计要正确，且各个部分，各个环节，乃至每个元件、器件、零件等都要质量好，可靠性高，这可是一件十分艰巨复杂而又细致的工作。

为此，钱学森多次听取汇报，不厌其烦地将每次汇报中所反映的大大小小的所有问题都一一详细记录下来，并一一落实解决。他提出要确保：一、设计工作没有漏洞。为此，他要求七机部和五院要组织设计协调及方案复查。二、所有的元器件都要齐套，并保证质量，保证可靠性。

1968 年 3 月 29 日，他在听取 651 工程情况汇报时，关于器材问题，尚未齐套的就有 18 万 3 千多个，其中 1 千多个到 4 月 20 日才齐套。对此，七机部和五院已无办法。于是他立即把四机部的领导找来，要求他们的两个配套仓库要开仓，仓库没有的，要马上安排生产。凡是承担任务的工厂，都要充分动员群众，确保质量。

为了确保卫星播送《东方红》乐曲准确，可靠，悦耳，他多次听取卫星总体负责人员的汇报，审查设计方案，检查设备质量。当卫星总体超重时，他提出，凡是和广播《东方红》乐曲有矛盾的，都要给广播让路。据此，孙家栋砍掉了一些试验项目，保证了政治任务的完成。

经五院和各协作单位的共同努力，“东方红-1 号”卫星的检验星于 1969 年 9 月完成了全部环境模拟试验，星上各系统工作正常，尤其是《东方红》乐音的质量很好。1970 年 3 月两颗发射星的总装工作开始，钱学森对即将发射的卫星质量也心中有数了。

651 工程中，有关地面发射和跟踪测量系统是由国防科委的基地承担的。那时钱学森还未到国防科委工作，但周总理指定他是 651 工程技术上的总负责人，所以，对地面发射和跟踪测量系统的建设问题他也得过问。每次国防科委召开这方面的会议，都请钱学森参加。有时基地的同志直接向他汇报，听取他的指导意见，并请他协调与星、箭之间的重大技术问题。所以，在地面发射和跟踪测量系统的建设中，钱学森从一个更高的层次上作出

了自己的贡献。

当时,担任测控系统技术负责人的陈芳允回忆说,"我们那时在下面做具体的技术工作,但航天技术是一项庞大的系统工程,这个系统与那个系统之间都有密切关系。像我搞的测控系统,不管是技术指标,还是工程施工,经常要与卫星系统和火箭系统协调,还要找工业部门配套。这些工作像我们这些在下面工作的技术人员很难做,跑了半天,人家都不听我的,协调不了。当时我们遇到这种大问题,就去找钱老,求他帮助。钱老的身份和地位与我们大不一样,他有权威性,说话算数。由他出面召开协调会,得出几条结论,大家都得照办。所以中国的导弹航天事业要是没有钱老这样一位权威人物,那可就难办了。"

1970 年 4 月 24 日,在周总理的直接关怀下,钱学森、李福泽、杨国宇、任新民、戚发轫等在酒泉卫星发射场,组织实施了我国第一颗人造卫星的发射工作。重 173 公斤的卫星发射成功。这颗卫星向全世界播送的《东方红》乐曲,宣告新中国迎来了航天时代的黎明。

钱学森在 4 月 25 日的庆功大会上发表了讲话,他一方面热情地歌颂了这一伟大成就,对各方面的贡献加以表彰和感谢。同时他还作了自我批评,说卫星发射时间一再推迟,使日本赶在我们前面,成为世界上第四个用自己的运载火箭发射卫星的国家。他说,作为老五院、七机部的领导成员,对此,他负有不可推卸的责任,并欢迎同志们批评。最后,他引用毛主席的话:"夺取全国胜利,这只是万里长征走完了第一步。如果这一步也值得骄傲,那是比较渺小的,更值得骄傲的还在后头。"以此来鼓励大家,进一步开创我国航天事业的新局面。

1970 年五一节的晚上,钱学森、任新民、戚发轫等科技人员,应邀上天安门城楼观看焰火。毛主席亲切地接见了他们。当我国的第一颗人造卫星划破天空,飞临北京上空时,天安门广场成千上万的群众一下子平静下来,大家都侧耳聆听卫星上播出的"东方红,太阳升"的清脆乐声。当他们真真切切地听到自己的人造卫星从太空播放他们所熟悉的乐曲时,广场上立即爆发出"毛主席万岁"的欢呼声。站在城楼上的毛主席和所有党和国家领导人都热烈鼓掌。这意味着中国人民不仅站立起来了,而且新中国真正地强大了！这可以说是新中国发展史上的一个重大里程碑。



当人们在尽情地欢呼歌唱时，钱学森却悄悄地退到了后排，站在一个很不显眼的位置，连毛主席回过头来，都没有找到他。他一贯坚持认为，一切成就归于党，归于集体，他个人只是沧海一粟。

在20世纪60、70年代，对于我国国防科技中的其他重大型号和重大技术问题，钱学森也以一个技术领导人的身份，从他这个层次上，在这些型号的方案论证，技术攻关，重大问题的组织协调及发射试验等方面，付出了辛勤的劳动。这些型号包括“东风-5号”液体洲际导弹、“尖兵”返回式卫星、固体火箭发动机和固体导弹、核潜艇和潜射导弹、“长征”系列运载火箭、地球同步轨道通信卫星、地面测控系统和远洋测量船、冲压式发动机、氢氧发动机、“红旗”系列、“海鹰”系列和“上游”系列等，当然，也包括反导问题。

关于导弹防御和反导问题，美国在60年代曾搞过这方面的工作，也进行过反导试验，但基本上都不成功，搞搞停停。钱学森很注意这些动向，但鉴于我国当时的情况，这个问题并未提到日程。

1964年2月6日，毛主席在中南海寓所，约见李四光、竺可桢和钱学森，和三位科学家谈谈科学技术方面的问题。据钱学森后来回忆说，毛主席穿着睡衣，半躺在床上。他的床很大，上面放着许多书，有的线装书上还夹着标签。他们三人则围床面坐，谈话并没有固定的主题，气氛很轻松。

钱学森说，三人之中，他最年轻，属晚辈，所以在开头他并没有说话，只和毛主席一起，听李四光和竺可桢谈话。李四光向毛主席谈了地质学和探矿方面的科学问题，竺可桢则谈气候和农业方面的科学发展。在他们谈话中间，毛主席时而插话，时面提问，兴趣甚浓。

过了一会儿，毛主席见钱学森没说话，便主动问他：“你搞的导弹那么厉害，有没有办法对付它啊？”钱学森说：“美国搞了些试验，但不成功。”于是毛主席讲：“有矛必有盾。再厉害的东西总可以找到对付的办法嘛。搞少数人，有饭吃，专门研究这个问题。5年不行，10年；10年不行，15年，总可以搞出来的。”

在那个年代，毛主席的指示自然是要迅速落实，坚决照办的。所以钱学森回来，便立即向七机部和国防科委的领导汇报了毛主席的谈话情况。聂荣臻则指示国防科委副主任罗舜初，迅速组织人员，落实毛主席的指示。最后决定，由七机部二院组织反导问题的探索和研究，并定名为640工程。



为了落实毛主席的这一指示，钱学森也下了很大功夫，和二院的科技人员一起，研究各种可能的反导途径和手段。他先后提出用导弹打导弹，用激光打导弹，用超炮打导弹等手段；也安排和部署了导弹防御和预警系统的研制，和反截击物理现象的研究等。这个问题一直搞了十几年时间，最后由于许多基本理论和重大技术问题无法突破，640工程不得不下马。钱学森后来一直认为，在这个问题上，我们应该总结经验教训。对于这么重大的问题，作为一名科学家，钱学森只能执行中央的决策。他对此态度一直是坦荡的。

四

1970年7月，钱学森调到国防科学技术委员会（下简称国防科委）担任副主任。

钱学森来国防科委上班的第一天，就遇到林彪下达的一项任务。

林彪当了"副统帅"以后，忽然关心起科学技术的发展问题。据说"林办"给国防科委打电话说，过去是蒸气机时代，后来又说是电气时代，现在有人说进到了原子时代。科学技术的发展，今后会是什么时代呀？

国防科委接到"林办的指示"以后，把这个问题交给了刚到科委上班的钱学森、朱光亚两位科学家。

"林副统帅"交办的任务，自然是不能怠慢的。于是钱学森组织了几个人，并请中国科学院有关研究所大力协助，共同回答"林副统帅"的问题，他出了几个题目，如对物质世界的认识，即基本粒子研究的发展问题；对宇宙的探索和认识及天文学的发展问题；生物技术的发展问题；战略武器的发展问题；激光和电子技术问题；甚至包括农业、交通的发展问题等等。

战略武器的发展由国防科委自己来写，钱、朱二位科学家把关；其他方面的问题则请各有关单位和专家来写。最后由国防科委汇总，并编印成册，上报"林办"。

"林办"看到这个小册子，认为搞得不错，并要向钱、朱两位科学家致谢。

钱学森说，一天晚上，"林办"派人到他家，给他送来一筐芒果。

"芒果"这个东西在今天真算不得什么，但在"文化大革命"中可是个了

不得的东西。毛主席要是给哪个单位送一个芒果，这个单位会敲锣打鼓庆贺好几天！

然而这天，那可是"林副统帅"的"一筐芒果"送到了钱学森面前！怎么办？他处理得十分巧妙，把自己与"林副统帅"完全定位在一种例行的"工作关系"上。

钱学森客气地让"林办"的人进屋坐坐，并对他说："完成这项任务是我的工作。如果'领导'上满意，那是我应该做的，不值得感谢。'领导'上的心意我领了，但我这个人一辈子不接受任何人的礼品，所以芒果请你们拿回去。"

这句话今天听起来也许没什么，但在"文化大革命"中，一切都"政治化"了的时代，敢于谢绝"林副统帅"的"好意"，那可是要冒很大风险的。如果换了别人，也许第二天就把他关进"牛棚"，隔离审查了！

这，就是钱学森的政治品质和政治智慧！

送走了林彪的人以后，他才全身心投入到国防科委的科学技术领导工作之中。在新的岗位上，他虽然仍要花费很大精力，参与组织领导和实施我国导弹和航天技术领域重大型号的研制和发射试验工作，但他也以自己广博的知识，开阔的眼界，从更高的层次上，思考我国国防科学技术中许多其他领域的重大科学和技术问题，甚至全国科学技术发展的重大问题，并提出过许多富于创新的、超前的见解。有些意见和见解，则是他到国防科委任职以前就提出和发表过的。

*　　　*　　　*　　　*

核武器和核科学技术原本不是钱学森的专业，也不是他主管的范围。但核武器和导弹关系密切，各种型号的核武器和导弹之间始终有一个"两弹结合"的问题，据说把他和朱光亚同时调到国防科委来，一个重要的考虑，就是便于"两弹"之间的技术协调问题。所以钱学森对核武器和核科技也十分关注。

早在七机部任职期间，他对七机部和二机部弹头工作如何分工，曾提出原则意见，并被采纳。

但"两弹结合"是一个十分复杂的问题，在 1966 年用"东-2 甲"进行两弹结合飞行爆炸试验以后，新的导弹和核弹型号依然存在许多两弹结合的问



题。钱学森在1967年1月20日提出，"'东3'、'东-4'的弹头外形变不变？重心变不变？飞行试验程序如何定？对一些具体技术问题，两部门如何协调分工，比如：各系统本身的试验按各自的特点和需要进行。但对于综合性验收性试验（如地面运输试验，调温试验，综合环境试验以及飞行试验等），二、七机部均可提出项目和要求，最后由七机部负责协调和确定。所需二机部的产品，由七机部提出，由二机部负责提供。

另外，在七机部进行遥测的情况下，如二机部需委托七机部进行遥测记录，由二机部提出遥测参数表，七机部提出遥测记录设备的输入讯号要求。如遥测设备由二机部自行负责解决，则由二机部提出遥测设备安装设计要求，七机部负责安排并安装。但是，同步起爆的过程，信息总量不多，但时间非常短，大约是几个微秒，所以信息率非常大。如果我们搞一个长时间能传输这样大信息率的通道，而只用几个微秒，未免太浪费了。所以这是一个十分特殊的遥测问题，应该单独研究。由谁研究？七机部还是二机部？这个问题要明确。

环境试验是否集中起来？看来还是相对地集中，不可能绝对地集中。七机部一院、五院都有一些，二机部九院也要搞一些，大家协同起来，互通有无才好。"

他归纳说："1. 二机部的工作探索性大，研究性大，试验性大，因此各种条件及参数的裕度小，所以对此必须多商量；2. 我们两个部门的经验不同，没有共同的经验基础；3. 将来有了实践，才能有个文件的基础；4. 协商是我们工作的基本方法。"

然而，关于核弹头本身的问题，在一开始钱学森曾告诫自己和七机部说，我们不便过问。但他很快意识到，这是一种"私心"的表现，于是他抛弃这种杂念，对核武器和核科学技术的发展问题，早在他到国防科委任职以前，就坦诚发表自己的见解。

在1966年末，他提出，特种装药的弹头能不能再进一步，来一个数量级的发展（即威力成十倍、百倍地增加）？为此他论证说：仅从原子核的微观过程来看，铀-235、钚-239和氚都没有很大区别，能量的释放只相当于不到1%的静质量。于是他提出，怎样才能释放大于1%的质量为能量？达到10%以上？这就要深入到粒子的内部去发现新的大能量释放过程。对此他



在 1969 年 6 月 19 日论证说：

1. 为什么要深入到基本粒子内部去发现新的大能量释放过程？这是因为我们过去认识了原子，才知道分子间的化学能。打破了原子核，产生了核能，才进入到基本粒子的领域。所以我们必须打破基本粒子，进入物质的再下一层，才能研究解决更大能量释放的问题。

2. 那就是基本粒子能的概念了。也就是只有进入到下一层物质结构才能解决利用那一层结构的能。这就犹如进入到原子，才知道分子能，进入到基本粒子，才知道原子能一样。这就要求科学院要加强基本粒子研究，考虑是否要建 1 000 亿电子伏特到 10 000 亿电子伏特的加速器，以及要不要加强受控热核反应的研究等问题。

3. 还有一个可能，即突破重子数 A 守恒定律。这是一个更长远的问题。因为一直到现在为止，我们所发现的基本粒子反应都满足这样一条定律，即如果我们令质子或中子具有一个为“1”的原子序数（反质子、反中子为－1），那么在反应中，此数守恒。由于这一守恒律，基本粒子的反应，如果从正物质出发，就不可能释放出相当于 1%以上的静质量的能量。但我认为这也不是绝对不可打破的。在核物理、核反应没有被认识时，不是也说原子是永恒的嘛？原子是不能打破的嘛？所以，一旦突破了重子数 A，其释放的能量就可以成数量级地增加。

两弹结合飞行爆炸试验以后，1966 年 12 月 31 日，钱学森在核试验基地座谈会上的发言中又进一步指出：今天的核能是用化学能触发的，今后的发展是不是会用热核能来触发基本粒子的能量？当然这需要找一个开锁的“钥匙”，犹如铀-235 是打开核能的“钥匙”，裂变是核能的途径一样。什么是打开基本粒子能的“钥匙”和具体途径？也就是把单位重量释放的能量再提高十倍、几十倍的方法是什么？这就对基本粒子的研究提出了很具体的要求。

关于核爆炸的测量问题，钱学森提出，我们即将进入温度在几千万度，质量密度在几克/厘米^3 的超高温、超高压等离子体的研究，不光是在外面研究其影响，面是要测量到其内部，研究其本身，这一领域的下限是“电爆丝”技术。对我们来说，这是一套全新的科学技术，首先应开展理论研究工作，中国科学院可以为这一新的领域组织力量。



与此相关的是等离子体科学和等离子体技术。钱学森指出,它直接关系到热核爆炸、受控热核反应、导弹头再人现象的测试及分析和各种再人目标等。从科学领域来看,它涉及:

1. 星体内部　温度～10^{11}K,密度～直到 10^6 克/厘米^3

2. 核爆炸反应区　温度～10^8K,密度～几克/厘米^3

3. 电爆丝　温度～10^4K,密度～几克/厘米^3

4. 受控热核反应　温度～10^7K,密度～10^{-4}克/厘米^3

5. 再人现象　温度～10^4K,密度～10^{-4}克/厘米^3

对于这一跨学科的尖端问题,他建议召开一次学术会议及文献总结,找出我们如何为尖端技术服务的途径。他指出,"工作要单刀直人,不能陷在枝节问题上。"

关于是否应该研究电爆丝技术,看看是否有可能大大提高它的温度?钱学森提出,办法是用高能量的电脉冲。问题是我们怎样能够输入 10^7 焦耳,即约 2.4×10^6 卡的能量?如果可以的话,他认为用 1 亿焦耳达到 10^7K 的高温是有希望的。这说明,巨脉冲放电是一项基本技术。有了这个装置,我们就可以进行以下试验:放电激波管及放电激波风洞;放电脉冲风洞;巨脉冲激光;高温电爆丝;气体中的放电等。他建议开展用电爆丝来研究高密度等离子体的工作。

同时他也注意到一些新技术在核武器中的应用。如化学激光引爆氢弹的问题。对此,他在 1970 年 1 月 8 日在《工作手册》中记载了自己的分析和看法:

1. 近来由于激光成功地把重氢核压在一起,出了中子,燃起了人们对用激光点燃聚变反应的希望。又因为最理想的激光能源是化学反应,及直接从化学反应来产生巨脉冲激光。因此就有人提出用化学炸药通过化学激光引爆氢弹。如果这能够实现,那就跨过裂变反应这一步。因为裂变反应的原料铀-233、铀-235、钚-239 极为难得,所以必须投入极大的资源和技术力量才能搞原子弹、氢弹。以上的理想如能实现,那就不要大量投资就能搞氢弹了。

2. 但是这里面的困难是极其艰巨的。首先,目前点燃氢弹是靠裂变弹的爆炸。我们以所谓"标准"裂变弹为准来计算,点燃氢弹所必须的能量是

2 万吨黄色炸药，也可以说是两万吨化学反应物质所释放出来的能量。所以如果点燃氢弹的技术不改进，那么即使化学激光的发生效率是 100%，也得用两万吨的化学炸药才能点燃氢弹。这自然是不成的。

3. 我们最多只能用两吨化学炸药来产生化学激光。这两吨化学炸药大约能产生 8.4×10^9 焦耳的化学能。如果转换为激光能量的效率高达 10%，激光能才 8.4×10^8 焦耳。我们必须研究用这样的激光能量点燃氢弹的技术。

钱学森不仅在核武器方面有自己的见解，而且在整个核科学技术方面，他也提出过许多独到的想法和看法。

在 1969 年 2 月 3 日，他对核和航天两大领域进行了宏观的比较。他说，"一直到今天，航天技术虽说把人类的活动范围大大地扩展了，是一项很大的成就。但是其所用的原理却是古老的，没有超出 20 世纪初年的东西。既没有用上相对论，也没有用上原子物理、核物理等在 20 世纪 30 年代才大大发展起来的东西；从这一点来说航天技术的发展没有核技术来得深刻。也说明对生产将起深远作用的，是核技术！核技术是我们必须十分重视的；当然，若干年之后，核技术又将同航天技术结合起来，把航天技术大大地推向前！如气芯原子火箭发动机和氘火箭发动机等。"

既然核科学技术这么重要，那么钱学森对整个二机部的工作，就有自己的看法，他在 20 世纪 60 年代末或 70 年代初认为，二机部所从事的是一个全新的技术领域，也是从微观到宏观，从理论计算到工厂生产的宽广纵深的工作。这项事业目前处在什么阶段，今后发展前景如何？

为了说明这个问题，他将核工业与化学工业作了比较，因为化学工业是建筑在分子和原子相互作用的基础上的；面核工业则深人到了原子核内部，它是建筑在核子相互作用基础上的。他说：

1. 虽然我们的祖先在几十万年以前就懂得用火，也就是化学燃烧，但是真正的大规模的化学工业，要等到人们认识了分子结构以后，即 20 世纪的初年。可以认为，世界第一个反应堆或第一批反应堆就如人类第一次学会了取火。我们用这个比方就可以看出：(1) 原子能的利用还处在相当原始的初期，将来的发展必定是广阔的；(2) 原子能的大发展也有待于我们真正了解原子核的结构。

2. 从单个原子核的反应能量比单个分子化学反应大一百万倍到几百万倍来说，核工业的前途比化学工业也要广阔得多。

3. 我们最终将能利用所有的原子核，而不是现在的几种，将人类第二次发现的“火种”发扬光大。

4. 为此在科学院必须大力开展原子核的研究，原子核结构的研究。

5. 二机部的任务是提供核燃料，如 U-233、U-235、Pu-239、Li-6、Li-7、H-2、H-3 等。这些东西都是从采矿开始，经过提炼，经过生产反应堆，经过浓缩，最后取得的。但是我们一定要强调综合利用，不然核燃料的成本一定降不下来。要综合利用就必须开展新型生产反应堆的研究设计，因此二机部一定要有自己庞大的研究机构。

综合利用就是：

(1) 重原子核，即 Th-232、U-235、U-238 和轻原子核，即 Li-6、Li-7、H-2、H-3 并用；

(2) 提炼原材料时，综合利用；

(3) 研究增殖反应堆和受控热核反应等；

(4) 同时发电和生产核燃料，如超钚元素；

(5) 同时淡化海水和生产核燃料；

(6) 同时进行化工生产和生产核燃料，如考虑从钨制造铼、锇等稀有元素，大搞“核化工”。这就是说，目的是核燃料，但有其他重要的副产品，如电力、化学产品、淡水等。

6. 将来二机部也可能利用地下核爆炸来生产核燃料。

在具体的核技术方面，当首数受控核能问题。钱学森首先用通俗易懂的语言，指出这个问题的本质。钱学森在 1967 年提出，“原子反应堆是以裂变为基础的，而原子弹也是裂变为基础的。因此可以说，原子反应堆是“受控的原子弹”。而“受控的氢弹”，或称受控热核反应器，原想完全用热核反应，没有搞成功。直到现在，完全用热核反应的热核弹(即氢弹)也没有搞成，所以这条路可能是条死路，走不通。现在搞出的所谓热核弹(氢弹)是裂变与聚变相结合的。因此，彭桓武说，也许可以造出裂变与聚变相结合的受控核能反应器。当然，这种办法不能以几个数量级的范围来扩大以铀为基础的核能源，但钱学森觉得这似乎还是值得考虑的一个途径。他说，这种反



应器也可以是一种固体的反应堆，即以铀-235、铀-238及氘化锂组成的反应堆。其中，氘和锂也是中子慢化剂；这种反应器也可以是气相的反应器，那就需要采取措施，不让未起反应的燃料流出来。

为了具体组织受控热核反应的工作，钱学森还提出了这样一个研究单位的专业设置和人员设想。他说，他提出深入开展这个工作的指导思想是：

1. 受控热核反应是人类了解自然，控制和利用自然的一件大事，它将为人类的能源开拓光辉的前景。

2. 工作有非常具体的目标，一个是为光炮作光泵的氘灯，一个是氘火箭发动机。我们力求合乎最后的技术条件，而不是搞一些示范的模型。

3. 既然我们提出的途径在理论上是可行的，那么在实践中一定能逐步实现。

4. 这个研究单位不但要有综合装置的工作，也要有深人的微观过程研究，要研究理论。这就要搞原子、分子物理及物理力学的工作。

5. 也要同时搞配套的新技术。大力研究超导磁场及电磁流体发电技术。而这也不是纯研究，而是要出东西。金属超导材料就得从原料干起，有自己的车间。这方面超导磁场又可以作为电贮能器，电贮能器又是点燃氘灯所需的。电磁流体发电技术配合火箭发动机又能为电贮能器提供能源。

因此，这是继核爆炸装置及核反应堆之后的又一项综合性物理技术。当我们充分掌握了超导技术之后，还可以大大地发展超导的其他强电应用，如超导发电机及超导电动机。液氢是必需的，铌也是必需的，自然氘是常用的。都得自己搞，建立工艺流程。

关键是受控热核反应器的设计问题。而这又涉及一些理论问题。对此，1969年6月25日，钱学森在《工作手册》中归纳了自己的看法。他写道：

1. 现在世界上在这项工作中的流行想法是完全离开普通化学火焰的机理，不是像化学火焰那样利用粒子间的碰撞把能量关在火焰中。如果那样去做，受控热核反应将是把光辐射通过和粒子的作用，关在火焰中。而这个作用太小了，即自由程太大；从而使最起码的火焰尺寸将是10^6米，即1000公里！所以这一条路是走不通了。因此就不靠这个办法，而是尽量减少辐射；韧致辐射是一定有的，所以这就产生了用极纯的氘及氚。韧致辐射



随温度 $T^{\frac{1}{2}}$ 而上升，而反应热随温度的上升还更快些，所以可以有一个点火温度。

2. 但是反应区的极高温度问题还是不能接触容器的，近 1 亿度的高温！所以想出了用磁场的办法，即把粒子关在磁力线之内，这也是利用反应中等离子体的特点。一直到现在，关键是关得住关不住的问题。我们可以相信，最后总是可以关住的。这里的问题是同一个新的自然现象作斗争，逐步摸清规律。我仍然以为伺服反馈控制的稳定方法可以考虑。

3. 但是磁场关住火焰也有个边，在火焰边界的情况如何？这里是不是也有边界层？能不能通过边界层往火焰送氘和氚？并用这个方法来解决关不住的能量损失。这是个带根本性的理论问题。看来这是得用麦克斯韦尔·波耳茨曼方程来解决的。

4. 这样的反应器也只有 20～30％的能量在器内，70～80％的能量逸出器外，是高能中子。所以反应器也是个高能中子源。这又是原子能利用的一个新前景，是在现有原子反应堆基础上的又一发展。当然，我们现在还不忙于考虑这个问题，反应器的问题解决了，然后再来解决这个问题。但这个观点也说明受控热核反应的全部过程其实同氢弹也还是极相似的。

钱学森对受控热核反应的研究工作，包括等离子体研究和受控热核反应动力学研究这两个方面的问题，在 1969 年 6 月 29 日分别作了论述：

1. 受控热核反应器的设想是以磁力封闭为其中心思想的，也靠磁场才能大大降低粒子的扩散和热扩散。所以磁场和等离子体的相互作用是其中心课题，不掌握这方面的规律就不能设计好反应器。

2. 所以应该有一个专门的等离子体动力学研究单位。这个研究单位除了理论工作之外，还要有一个传感过程研究室，从实验测定输运过程的各项系数。再就是测试技术研究和磁场技术研究等。

关于动力学方面的研究，钱学森作了点估算。他写道：

1. 从目前的情况来看，最有希望的途径是：(1) 用磁笼的设计，一端封闭略弱，为燃气的出口；(2) 点火用环流收缩。

2. 如果我们本着这样的方案去干，点火用的能量为：

以用 1 克氘来计算，即约 2 克分子的粒子，

$$E = 2R \cdot \frac{3}{2}T = 3RT;$$

$$R = 8.314\ 焦耳/克分子;\ T \cong 5 \times 10^8;$$

$$E = 3 \times 8.314 \times 5\ 亿焦耳 = 124.6\ 亿焦耳。$$

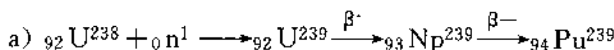
所以在这里也得有一个极大的电贮能系统。

3. 从这个观点来看,在以前所说的磁笼研究和环流收缩研究的工作都不能是原型工作,而是先行研究工作,是为原型工作探路的。研究方法是用上亿焦耳的电贮能系统来试验点火,这是环流收缩研究工作的目的。这是比原型尺寸小的装置,但温度及密度要一样。而磁笼研究工作是专门研究封闭工作的,这是大尺寸,即原型的尺寸,但温度和密度可以低得多。

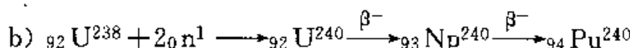
关于目前已经实现的以裂变为基础的原子能发电,钱学森从核电站使用过的核燃料可以提取制造原子弹的核材料钚-239 来看,他认为,原子弹、氢弹、潜艇核动力等必须同原子核发电结合起来才能节约!

由于核材料的资源一般是比较稀少的,所以钱学森敏锐地注意到美国在 1964 年进行的一次地下核试验,通过中子俘获,产生了超铀元素的报道。于是,他在 1967 年 1 月 21 日的《工作手册》中记下了自己关于这个问题的设想。他写道:

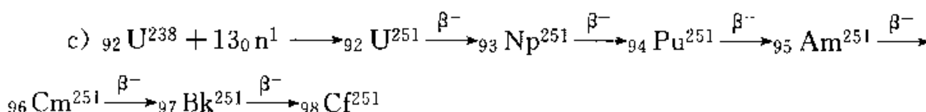
1. 我们可以用几公斤的钚来引爆一个大氘化锂(或液氘)加铀-238 的"氢弹",目的不在于产生能量,而在于生产尽可能多的超铀元素。如:



a) ${}_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}U^{239} \xrightarrow{\beta^-} {}_{93}Np^{239} \xrightarrow{\beta^-} {}_{94}Pu^{239}$



b) ${}_{92}U^{238} + 2{}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}U^{240} \xrightarrow{\beta^-} {}_{93}Np^{240} \xrightarrow{\beta^-} {}_{94}Pu^{240}$



c) ${}_{92}U^{238} + 13{}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}U^{251} \xrightarrow{\beta^-} {}_{93}Np^{251} \xrightarrow{\beta^-} {}_{94}Pu^{251} \xrightarrow{\beta^-} {}_{95}Am^{251} \xrightarrow{\beta^-} {}_{96}Cm^{251} \xrightarrow{\beta^-} {}_{97}Bk^{251} \xrightarrow{\beta^-} {}_{98}Cf^{251}$

这就是一个新的设计问题。

2. 然后把这个爆炸封闭在地下,用地壳作容器,即反应器。爆炸后可以等一段时间,让放射性衰减下来,直到超铀元素基本形成。那时就可以来开这个人造的超铀元素矿。

3. 也许这个方法同时能生产比较多的钚-239,其生产成本是否有可能



比反应堆的方法还便宜？这就是先用反应堆(天然铀为燃料)生产钚-239，分离以后的铀仍然有铀-235；用扩散法或其他方法分离出铀-235；而废料中的铀-238又成为爆炸法生产各种超铀元素的原料。

此外，钱学森也注意到美国关于用地下核爆炸来开采天然气、石油和深采铜矿等计划，以及用核爆炸建港口、挖运河、劈山、开路等设想。据说用核爆炸的经费仅是化学爆炸的二分之一，关键是核辐射效应。据说现在核爆炸的辐射已经减少，实用的可能性增加了。他说，这可能与搞"干净的"小氢弹有关。

将核能用作火箭的动力一直是钱学森追求的目标。早在40年代，他在美国就曾发表过《采用核能的火箭和其他热射流》的论文，不过在当时，他只是探讨实现核火箭的可能性。

回国以后，他在"两弹一星"工作中，则不断探索实现这种火箭在工程上的可行性，他在1967年2月7日的《工作手册》中归纳了自己关于这个问题的看法：看来电弧加热火箭难于达到每秒几十公里的喷气速度，而且效率也比较低(由于电离能浪费了)，现在才60%。另外电磁流体火箭的其他设备及规律还未掌握好，效率也只有50%。只有离子火箭的效率比较高，达80～90%。所以我们应直接干离子火箭，同时发展电磁流体火箭。应组织一个专业的研究所干这件事。同时请二机部及其他协作单位提供空间核能发电装置。

接着他以离子火箭作末级，发射大功率地球同步通信卫星为例，在设定卫星及末级火箭在初始轨道上的重量，起始推力和电效率等条件下，进行了一套严密的数学推导和计算，得出了同步轨道上卫星的重量，其中包括有效载荷、动力及结构、推进剂等的重量，喷气功率，电功率等有关数据。由此推导出卫星不大于800公斤，80到120千瓦的功率，寿命不小于4年等技术指标。

他借鉴美国搞固芯原子火箭发动机的经验，提出我们自己可以固芯的和气芯的同时搞起来。他说，"关于气芯的核火箭问题是不让昂贵的核燃料流入工质流中，也就是一个如何让核燃料流动自稳地在一定边区停留得长一些。现在已经发现Tollmien的旋涡或Taylor旋涡在此出现，大有好处。我们可以利用这一点，想办法促使它发展，并稳定下来。例如供核燃料的方

式可以通过反应器的壁面喷嘴，帮助涡流的形成。这实在是一个气动力学问题，如果我们下决心，过细地做工作，就像解决飞机气动力问题那样，做上千次，上万次的试验，再加理论分析，辅助性实验，这个问题总是可以解决的。”

核弹从原子弹走到氢弹，是一个质的飞跃和发展。作为一名超前的科学家，钱学森也在思考，是否能造出利用热核能的火箭？对此，钱学森认为，氘火箭的问题其实是一个“点火”的问题。我们要有一个足以把一块氘加热到一亿度或几千万度的“火种”。他说，2 克氘为一克分子氘，包括 6.025×10^{23} 个分子，当加热到高温时，每个分子又电离成 2 个粒子，故加热到 10^{8} 度(即亿度)的能量为

$$2\times6.025\times10^{23}\times\frac{3}{2}\times1.3804\times10^{-16}\text{ 尔格}\times10^{8}$$

$$=2\times1.248\times10^{16}\text{ 尔格}=2\times1248\times10^{9}\text{ 焦耳}=2.496\times10^{9}\text{ 焦耳。}$$

因此我们可以考虑用巨脉冲激光来点火，可能要 10^{10} 焦耳的能量。这与光炮对付导弹的要求差不多。

接着钱学森对于用巨脉冲点聚变之火的问题又做了推算，从计算可以看出，用蛮干的办法是不能取得胜利的，应该更好地利用光的相干性。因此我们应该立即开展强光与等离子体的作用的研究。是否可以考虑把电爆丝技术同高强度激光结合起来？

1967 年 3 月 28 日，钱学森结合军、民两方面的应用，归纳总结了原子反应堆作为推进动力的应用：

1. 核潜艇——装导弹；
2. 核潜水船——货运；
3. 空间电站——大约 150 千瓦；
4. 高速客轮；
5. 原子火箭的反应堆；
6. 大型气垫舰；
7. 大型水翼舰。

他认为最困难的任务可能是为原子火箭发动机、原子冲压式发动机及原子喷气涡轮发动机研制出高效能的反应堆。中间步骤可能是空间电站、



大型水翼舰或大型气垫舰用的反应堆。

对于其中核潜艇的反应堆和空间核电站，钱学森还作了专门说明：

1. 为了制造潜航速度极高的核潜艇，我们就必须制造总体积不大，即功率密度极大的动力反应堆，当然反应堆的总重量也不能大；

2. 为了制造空间电站，那就是个大大减轻重量的问题，这里并不太要求体积小；

3. 从这一点来看，第一、极高潜航速度的核潜艇动力反应堆的问题与空间核电站的动力反应堆的问题，有相同的地方。也许都应该用快中子堆，都应该用热离子直接发电。第二，总的来看，似乎潜艇反应堆的问题更难一些。因为还有一个体积小的问题。

4. 是什么技术途径呢？用快中子堆，用二极热离子管从热能直接发电，也用蒸气循环的机械动力。

这么一来，快中子堆，热离子二极管，然后用液态金属冷却，空间辐射器，这是空间核电站的问题；而液态冷却加外循环工质，蒸气机械动力再加上去，就成了潜艇的大功率、小体积核动力了。

关于这个问题他还提醒说，我们必须接受美国在搞航空和空间核动力问题上的教训，一步登天是不行的，一定要安排几个中间步骤。说这里面的关键问题是轻质屏蔽！

在导弹与航天技术方面，钱学森则站在更高的层次，以更加开阔的眼界，关注导弹和航天技术的进一步发展问题，并提出了许多有预见性的见解和课题。

钱学森在 1969 年 6 月 27 日指出：我们前一段工作主要是赶上去，从实践中掌握技术。现在应该考虑下一步到底该如何去搞？我认为应该是搞小型化；提高制导精度；搞多弹头；再就是机动发射。

首先是导弹小型化问题。钱学森在 1969 年 3 月 15 日指出，过去搞的型号都是粗大类型的，现在要把小型化问题提到日程上来。他首先指出解决小型化问题的几个途径，即：

1. 固体火箭发动机用铝粉提高比冲；

2. 惯性器件引用铍合金，小型化；

3. 电子元器件用固体组件及集成电路；

4. 引用射流技术；

5. 提高战斗部效率；

6. 提高制导精度，这样战斗部（即弹头）也就可以缩小了；

7. 电缆的小型化与轻型化；

8. 采用固液型多级结构，减轻结构重量。

他说，采取这些措施以后，我们完全有可能将起飞重量降至可以机动发射的水平，就可以将几发弹载到潜艇中去发射，这将是一项重大的技术革新。我们自己的任务就是大大加强小型化工作。特别是把制导系统小型化、轻量化，是一件艰巨的任务。这项工作开始于"巨浪-1 号"，而以"巨浪-2 号"为尤。

与小型化直接有关的，是机动发射问题。钱学森说，我们自己的发射点要不为敌人所攻击，最好的办法是使发射点能较快移动，如半小时走 30 公里，即时速 60 公里。潜射导弹是一种机动发射。除了潜艇发射以外，也可以用水面舰船从内河航道上发射，用列车在轨道上发射，或者用汽车在公路上机动发射。这就要专门研制载重量大的汽车，还要考虑路面够不够宽，桥梁够不够坚固等问题。总之，使用上的问题也很多，要相应地解决。

关于潜艇发射的导弹，钱学森说：潜艇装的弹道式导弹最重要的特点是体积及长度的限制，即体积与长度越小越好，这对超高速潜艇就更加重要了。因此，核弹头的尺寸要小，重量要轻；制导系统的尺寸要小，重量要轻；采用高比冲、高密度的推进剂等。

钱学森认为，固体推进剂火箭发动机要进一步发展。他说，从 1965 年开始加铝粉，解决了大型固体发动机的燃烧稳定性问题以来，我们已经成功地研制出"长征-1 号"运载火箭的第三级固体发动机，这是大大地前进了一步。今后的任务是在此基础上，如何尽快地赶上和超过世界先进水平。另一个方面是降低死重的问题。这是一个非常重要的问题，要专门组织力量研究。包括：用碳丝缠绕壳体；降低包复层的重量；降低残药的重量；降低喷管的重量；降低推力方向控制的重量；降低点火器的重量；降低推力终止系统的重量。还有一个问题是严格装药的控制，力求减小散布度。再就是开始存放寿命的研究工作，解决长期贮放中出裂纹的问题。这件事关系到基地的建设，而且试验又费时间，所以是十分急迫的。

钱学森还提出了三组元推进剂的问题。他从国外资料获得了这方面的信息：据说用液氟＋熔锂＋液氢，比冲可达 600 秒；而用液氧＋BeH_2＋液氢，比冲可达 550 秒。所以他指出应该召开一次三组元推进剂的会议，讨论一下方向，安排工作。

反截击和多弹头问题是导弹技术的一项重要发展。钱学森归纳说，现在想到的反截击技术有：雷达波吸收涂层；控制姿态，不翻滚；高空轻诱饵；重诱饵；重诱饵加干扰机；多弹头（多个战斗部）；机动飞行。尤其是加了机动飞行，弹头实际上已成为超高速滑翔机了。从"东-1"的弹头，我们逐步演变，开始是量变，现在到了质变的阶段。因此，我们的认识必须改变，一定要改变习惯想法，大变。

关于多弹头问题，钱学森在 1969 年 6 月 8 日对 n 个小弹头与一个同等重量的大弹头的破坏面积进行了推算。从计算结果看出，仅从破坏力来看，多头再人的意义在于：1. 充分利用已有的大运载能力火箭；2. 充分利用大大减小的引爆装置。

另一种看法是从突防技术的观点出发，即用多弹头可以使得敌人一个防区的反导弹武器系统成为饱和状态，因面增加导弹的突防能力。当然，这一效果也可以用多发单弹头导弹同时落入一个防区来达到。但是用多发导弹需要花费巨大的人力、物力。自然这两种途径的突防效果不完全相同。多弹头导弹总有一个子弹头的分离点，如果反导弹武器能够在它们分离前拦截这发导弹，那就将多弹头一网打尽了。面用多发导弹同时进攻一个防区则没有被一网打尽的可能。由此看来对付多弹头技术的办法是高空拦截或中程拦截，这又突出了反导弹系统的高空方案。由此而产生一个问题是，我们现在用多种诱饵的办法是否有效？是用诱饵，还是用多弹头？这是个问题。

多弹头导弹的每一个子弹头可以不加控制，也可以自带控制系统。自带控制系统是多弹头技术的发展。所以到 1969 年 7 月 4 日，钱学森又进一步分析了分别自控的多弹头武器问题。他说："运载工具即液体火箭和固体火箭的运载能力越来越大，这样就能够加大弹头的总重量。而另一方面，由于核武器研究的进展，每个核爆炸装置的重量在不断减轻，所以就可以同时送几个核爆炸装置，即多个弹头。同时送几个核弹头，又分别自控，即再人

过程中有控制，或有按预定程序进行空气动力的飞行轨迹控制，从而达到分别打击各自的目标。这样一来，敌人的防御就有饱和的可能，从而达到突破。这是分别自控的多弹头技术的背景。

通过空气动力的控制，实现再入飞行轨迹的变动，这本来是美国进行了长时期工作的，原来的目的是载人飞船返回时，航天员可以改变着陆点。根据这些工作，知道 8 公里/秒速度的再入体，可以利用空气动力产生的升力和侧向力，把着陆点在前后近千公里，左右二三百公里的范围内变动。所以分别自控的弹头可以大约在这么个地区着地，这就是分别精确地命中目标群中的每个目标。

我们的技术途径可以是几个弹头在一起，外面只有一个极轻的风罩，连同末级在一起。风罩也可以在第二级点火后就甩掉。每个弹头外面有防热层，里面有空气动力控制的程序装置。末级里有运载火箭的控制系统，自然也有计算机。这个系统可以计算末级连同多个弹头的实际轨迹，一直到再入的前一瞬间，并可以最后把修正信号加到每个弹头内部的控制机构，增加每个弹头的命中精度。然后同末级脱开，子弹头也各自分开，开始各自的再入飞行过程，直至命中目标。我们在这里强调自控，为的是不叫敌人用干扰手段。但也可以进一步考虑用目标跟踪系统，那就可以更精确，但是更复杂些。

这样一项任务是很艰巨的，是对弹头工作的一个大促进，也是对高速气动力工作的大促进！”

根据以上分析，他提出了多弹头再入问题的研究课题：

1. 空气动力方面，设计能机动飞行的再入体；
2. 弹头再入的制导系统；
3. 末制导，如地图比较末制导；
4. 无线电对抗、干扰措施。

另外，除了以前讲过的空气动力工作和模型试验工作以外，还要开展以下的预先研究：

1. 在大气层外的火箭动力变轨，其可能性；
2. 在大气层外的轻质诱饵；
3. 在空气层内连续放诱饵(锡箔)；



4. 雷达干扰措施；

5. 末制导和小型惯性制导系统。

他估计，这类研究的工作量将是十分庞大的，很有必要开一个会，作全面部署。

有人提出，弹道式导弹能不能够攻入地下去爆炸？这是一个新问题，对此钱学森作了如下分析：

1. 这种导弹为的是打击敌人的地下要地设施，也就是去想办法对付抗核爆炸最有效的方法，破这道防御。二炮的同志提出过这种设想，但还没听说外国有人研究。

2. 这种导弹要发挥其威力，就必须能非常准确地命中目标，因为如果误差大了，地下爆炸的威力就不能摧毁敌人的防御工事。我们可以要求 0.1 公里的精度，即公算偏差 $\sigma=0.1$ 公里。这个精度如何才能达到？(1) 依靠精确的目标定位；(2) 依靠精密的制导系统；(3) 依靠末制导。而最后一种方法也是分导式多弹头再入的一种制导方法。

3. 再一个要求是入地的设计。可以考虑的方法是：(1) 前向聚能化学炸药的爆炸，目的是在地上钻一个孔；(2) 然后是穿甲弹进入这个孔，在孔底爆炸。

4. 这样的设想就要做许多实验研究，聚能炸孔要多少化学炸药？随之而入的穿甲弹要多坚厚的壳体才能保护原子爆炸装置？原子爆炸装置如何设计才能抗得住那样大的加速度？几千个 g？但是所有这些都是技术上的问题，不是不能解决的。其难度并不比造氢弹以前的摸索过程更难。我们也可以参考膛式发射火箭的设计，去考虑如何抗极大的加速度。

5. 也许这样的导弹头是非常重的。如果说要用两吨化学炸药去穿孔，要用 1 吨的核爆炸装置，而穿甲壳重 10 吨。那加在一起就是 13 吨重。重 13 吨的弹头也不是不可能的！

钱学森也考虑到核爆炸的辐射对导弹元器件的影响问题，这是核大战条件下的一个重要问题。1969 年 11 月 26 日他对此进行了系统地分析。他说："核爆炸产生几种短期辐射，它们能在几十公里的距离内引起导弹电子器件的短期或最终失效。这几种辐射是：

1. 高能中子。快中子在爆炸的 1 微秒中释放出来，当它打到材料上

时，就如一个高速弹丸，引起材料中结构的破坏。这就产生永久性的破坏，尤以在半导体器件中为甚，因为半导体是靠其有规则的结构来工作。

2. γ射线。它是在爆炸时，以脉冲形式发射出来的，长不过几个微秒。这是所谓即时的γ射线，以区别由于核爆炸产生的放射性产物发出的γ射线，那是所谓后效γ射线。后效的γ射线在爆炸1分钟时间内其强度是比较高的，其中也包括空气中氮原子核吸收中子所产生的γ射线。后效的γ射线因其持续时间长，其总剂量可以为即时γ射线的100倍。但毕竟因即时γ射线的强度高，对电子器件的破坏效果更大。

3. X射线也在核爆炸中产生。在低空中，X射线很快就被空气所吸收，但在几百公里的高空，X射线可以走相当一段距离才被吸收。在核爆炸后的1分钟左右时间，这种辐射的强度比较高，对电子器件有较大影响，这叫做初始辐射。在此之后，辐射能量低，可以持续几小时以至几天，那只对人体有害，对电子器件的影响不大，这叫做后效辐射。

γ射线和比较高能的X射线在为材料吸收时，能产生几种暂时的后果。对电子器件来说，这里面最重要的是电离，即由于某些原子的电子被打出去而引起的电离。这能把绝缘体暂时变为导体，产生内部电流，叫"光电流"，这是电子器件正常工作所没有的。一般在γ射线或X射线停止后，经过短时间器件即能恢复正常。但是对弹道式导弹和核弹头来说，暂时的失效也会引起导弹走邪了，或核弹头的过早起炸。而且即便是暂时的现象也可以产生永久的破坏，例如极大的内部电流也可以烧坏金属接头，使器件永远失效。这就提出设计时要有防护措施。

氢弹比原子弹能产生更多的高能中子，而且也可以在弹头设计中加强中子的产生。中子对电子器件有什么影响?

中子的速度比光速(γ射线和X射线的速度)慢，但在其对电子器件有破坏作用的距离内，它大约在核爆炸1秒后到达。中子在空气中走，其能量因和原子核的碰撞而减少，其粒子流的强度也因其被氮原子核的吸收(产生γ射线)面减弱。一般未加特殊保护的电子器件，当时间累积到中子流强度大于10^{13}中子/厘米^{2}时就破坏了。普通的100万吨当量核爆炸，如果在天上爆炸，这个中子强度可以延伸到爆心外32公里。但同一爆炸如在低空，这个距离只有1公里。



对 γ 射线来说，一般未加特殊保护的电子器件，受到 10^7rad/秒以上的剂量就坏了。普通 100 万吨当量核爆炸，如果在天上爆炸，这个强度可以延伸到距爆心 160 公里处。如果在低空，那距离只有 2.5 公里。在 1 公里或 2.5 公里处，低空爆炸的热辐射和气浪将是对电子器件的威胁。

由此他提出，我们对导弹控制系统如何防辐射的问题要作系统的研究。另外也应该寻找具有抗辐射能力的途径，例如射流技术。这方面的工作对卫星进入地球辐射带后，抗太阳辐射也有重要意义。

他也提出导弹的"三防"问题。即防潮、防锈和防霉问题。他说："在我国东南、南方、西南都有三防问题，而这对尖端精密的生产和研制来说尤为重要。从我国的防御角度出发，必须把重要的关键单位进洞，三防问题就更加严重了。从国防事业来看，还有一个地下工事的问题，发射阵地也是个洞子，也会有三防问题。这样看来，三防问题是国防科研、国防工业、国防工事中普遍存在的问题，要开会总结，交流经验，提出措施。"

钱学森考虑到国家经济并不富裕，提出搞导弹也要节约的问题。他说，"现在看来，由于我们在以前用了弹道固定的捷联补偿式制导系统，一开始又只打近弹道，弹头不能及早得到考验，所以一打全程又会发现弹头再入时的问题。这就浪费了。现在改用了平台式的制导系统，改变了，能打各式弹道，这就使以后的型号可以用低弹道、高弹道一开始就考验再入问题，这就是节约。再有一种节约的途径就是做大量的理论计算工作，特别是结合地面模拟试验认同理论，通过电子计算机计算，来解决问题，尽量减少全弹试验。例如：随机振荡用功率谱和传递函数来计算。"

钱学森还注意到发动机的耗尽关机问题。他说："目前我们在液体火箭发动机的技术中，由于混合比的可能偏差，发动机的推进剂必须留有余量，而这个余量实是死重，十分可惜，它不仅是一种浪费，而且影响导弹的性能。这在一级火箭中，没有什么方法可以解决这个困难。在多级火箭（如三级火箭）中，我们可以让最后一级去控制射程，而第一级火箭或第二级火箭用耗尽关机的方法。这样我们可以通过概率的计算，调剂有无，减少总的余量。这个问题应该加以研究，看来对改进我们的导弹是有用的。"

在航天技术方面，钱学森在 1969 年提出从机场起落的航天运载工具。这是航天技术和航空技术的结合，美国后来在 70 年代搞的航天飞机就是这

种技术的雏形。他也认识到，随着航天技术的发展，它将能为国民经济建设做许多贡献。除了通信、气象等卫星以外，更长远的，他注意到可以在天上搞生产，那里的环境特殊，前景十分诱人。对此，他分析说，我们必须看到天上的条件有其特点：1. 有太阳的辐射，有各种粒子流；2. 极高的真空；3. 失重的条件。

如果在天上建立车间，即在航天站上搞个车间，我们就能利用这些特殊的条件来进行生产，使其所花的劳动量（包括送东西上天的劳动量）比在地球表面的劳动量少，那在天上搞生产就划算了。

现在看来，天上生产有哪儿个方面的可能性呢？

1. 制造折射率高的特种玻璃，如氧化铝、氧化铪玻璃。从而能在复合棱镜中解决二次光谱校正问题；

2. 制造无缺陷的电子器件用晶体；

3. 制造需要特殊分离过程的药物，如用离心分离机和电渗方法制造的菌苗；

4. 制造新的合金。这里花样很多，也就是各种新材料；

5. 制造和分离同位素。有人认为从天然铀和钍可以在天上生产铀-233 和钚-239；

6. 制造高强度的硼丝，直接从熔化的硼用电磁场来拉丝。

所以当我们在天上建立了航天站，并解决了往返多次的运输问题之后，就逐渐具备了在天上搞生产的条件，也可以设想，这在 21 世纪将是一个不小的工业。

在天上还可以搞农业。他说，“天上阳光充沛，是搞农业的好场合。将来地面上农业生产满了，可以到天上去。也可以从另外一个角度出发，即太阳光射到地球表面的只有极少一部分，我们到天上去，就可以捕获地面以外的太阳光能量。这是一个开发。将来也可以把太阳光反射到地球的夜间表面，这也是提高产量的一个办法。”

他说，“这些当然是十分遥远的事情。”

*　　*　　*　　*

钱学森既是一位科学家，又是我国火箭导弹和航天事业，乃至整个国防科技事业的高层领导人。处在这样的地位，他必须考虑我国国防科技事业



的管理问题。他曾借鉴美国的经验,提出组织管理工作量:科研设计工作量:试制生产工作量=1:1:1,这就是所谓三三制的工作量。由此他认为,管理是十分重要的,没有管理工作是不行的。

他认为,国防科学技术所从事的"两弹一星"、导弹核潜艇等等之类的工作,都是大规模的科学技术工作,技术复杂,涉及面宽,参与的人多,协调性强,所以组织工作非常重要。他常常强调要"严密地"组织,按系统分层次,把各个环节严密地组织起来。在这一套组织系统中,他首先强调要抓总体,抓大总体。他说,现代科学实验的一个突出特点是大集体性,因此,一个型号任务的完成,必须强调其总体工作。他举一条舰船为例来说明:一条舰船是一个复杂的武器系统,因此抓总是非常重要的。不能说船的设计归船的设计,船上的设备可以各家分头去干,最后装在一起就行了。那样做大有装不到一起的危险,整个武器系统就不行了。所以,我们的业务工作必须强调在民主基础上的统一集中,统一指挥,不允许各个单位随意去干,那样非失败不可。这也就提出了组织纪律的重要性,指挥员的重要性。不能借口反对专家路线而对业务工作的统一指挥提出异议,不能反对指挥员。党委要帮助业务指挥员,特别要帮助知识分子出身的业务指挥员(业务指挥员也非知识分子不行)。

与技术指挥线密切相关的,是行政指挥线,即组织调度工作。对此,钱学森说,我们必须认识到大规模科学实验的多变而又交错关联,一个项目变了,可能牵动全局。因此组织调度工作是非常繁重的,而且这也是干得好,干不好的关键。我们还必须认识到大规模科学实验的计划及调度比生产中的计划及调度还要繁,还要频!这就说明为什么计划协调之类的技术是在大规模科学实验中产生的,而不是在工业生产中产生的。因此国防科委的每一个研究院一定要有电子技术的计划及调度机构,物资局等横的系统也得如此。所以他强调,"组织,组织,还是组织!这是一件大事。"

物资的供应和调配,是调度工作中十分频繁的一项任务。对此钱学森提出,目前国防科研、国防工业中有三个物资系统:

1. 地方的,市场可以买到的物资,属三类物资;
2. 国家控制的,这是物资部系统的,它有地区仓库;
3. 国防工业各部生产的,主要是四机部的东西,它由四机部分配。

问题是真正办好物资供应，如何把2、3合成一个系统，真正做好地区仓库工作，连备件等也在内。所以物资调度要引用现代化技术，减少管理人员，形成全国快速的调度制度。在这方面，一定要向先进的商业单位学习，开好“百货公司”。供应站附设化验单位，工厂不设。供应站力求做到小批供应，不让工厂仓库存货太多，最好能做到取消工厂的仓库。要倡导开展管理及调度工作的电子化，引用高速电子计算机。

要倡导开展运筹学在国防工业管理中的应用。这又包括以下几个方面的业务技术内容：

1. 计划的平衡技术，包括投入产出法和电子计算机的应用；
2. 计划的协调技术，包括统筹学和电子计算机的应用；
3. 生产统计、数据，包括统计工作和电子计算机的应用；
4. 质量及可靠性控制技术。

在这个基础上，在国防工业部门，以及全国各经济部门之间的计划调度，那就可以用数学的方法来增加准确性，用电子计算机来达到及时性。有了准确而又及时的分析，就可以紧跟情况，紧跟群众的不断创造了。

当然在完全自动化的工厂中，调度管理及工艺控制就结合起来了，调度管理也成为生产控制的一个组成部分，也就自然要用电子计算机去做了。这里发挥人的因素在于设计更好的自动化系统。

制订规划计划是管理工作中的重要内容。对此，钱学森也进行了分析研究。他首先明确规划与计划的内涵和区别。

他说：“一般人们说规划是长远一点的，计划则是短期一点的。或者说规划是粗一点的，粗杠杠，计划则是仔细详尽的。这些说法都对，但不够明确。对尖端技术来说，国家总是优先保证的，所以规划可以不谈可能性方面的东西，或少谈可能性方面的东西；规划着重在需要，着重在科学技术的可能；先后次序上着重于科学研究的规律。规划在进度问题上除考虑技术因素外，也要充分考虑人的积极因素。这样的规划才能避免保守，但也是科学的，不是冒进的。

计划工作则是规划的组织实施方案，因此必须十分严密。也要有条件的考虑和组织上的措施。但计划是年度工作，我们对下一年的情况已经有了仔细的估计，所以也有条件做好计划了。



相对说来，规划工作是上级领导机关的事，是领导机关在听取下面情况后，根据中央总的意图制订的，不能由下级机关制订。

而计划则主要由下级实施单位制订。当然规划与计划，上下级别不同也是不同的，一个规划对更上一级的机关来看也可能是计划；而一个计划对更下一级的机关来看也可能是规划。

工业生产的规划计划工作与科研的情况不同，自有其特点。工业生产的规划计划工作要注意些什么问题？规划工作要靠一系列的比例数字，要靠生产一个产品的工时数。但是这些数字从什么地方来？当然只能从实践中来，而实践是不断发展的，今天是这样，明天又前进了。

所以规划工作者所使用的数字一定落后于生产实际，总是比较保守的。要不断地更新数字，才能跟上。所以规划工作一定要建立在调查研究的基础上，要总结先进厂的经验，向先进厂看齐，然后留有余地，形成规划的基本数字。因此搞规划的同志要下去，规划工作要同工艺工作结合起来，经常更新规划的基本数字。例如我们的工人一年生产工时是不是 2000 小时？这要到如北京针织厂去请教。再如基本生产工人同辅助生产工人人数的比例也是随生产自动化、机械化的程度，生产组织的好坏有区别的，不能一成不变。产品的生产工时数就更要随生产机械化自动化而变得越来越小。

如果说建生产基地，那就还有一个配套的程度问题，即地区协作到什么程度，是不是都建医院？都建计量站？都建标准件厂？这就是一个政策问题，一定要领会中央的精神，也要去当地作调查，并向地区领导请示。

计划管理工作要运用科学的计算，使用电子计算机，提高计划的科学性、准确性，这包括引用博弈论。在这个方法中，我们的对方是：自然条件的变化，技术上的未知因素，阶级敌人的可能干扰，我们自己可能犯错误，这些都是有一定随机性的东西。

当然我们不是机械唯物论者，'局面'（即博弈的矩阵）是可以因我们的主观努力，即巧妙安排而改变的。因此在我们国家里，这门学问还应该有更新的、更加丰富的内容，即如何利用客观规律来改变'局面'，使之对我们的社会主义建设更有利。我们在科学的计划工作中一定要用电子计算机，这样就不怕繁复的计算工作了。"

关于地区协作配套问题，钱学森认为，当一个地区的工业配套到一定程

度，达到如90%时，那么一项大规模的新技术产品，像导弹武器系统，就可以基本上完全放在这个地区去执行。目前具备这样条件的是上海市。而北京市和天津市如果连同七机部各院的试制工厂，也可以算是具备配套的条件。当我们要用最短的时间攻下这个大规模新技术产品的时候，就可以采用大会战的方式，即全区动员，统一调度，大力协同。我们初期搞"两弹"，那也是大会战，是全国性的，所以必须由中央专委才能集中。

现在也还有中央专委，但是总理事繁，不可能把"两弹"的事都放在他那里去解决。再一个因素是我国工业的地区配套能力也已大大上升，可以在省、市、自治区组织大会战了。当然也还会有一小部分要全国协作的，所以中央专委的工作仍有，而且今后中央专委将把更多的力量放在方针、政策上面。看到这个新形势，我们要考虑相对的集中。如① 越野车集中到北京市行不行？天津？② 特种钢材集中到北京市行不行？天津？③ 元器件集中北京或天津？

除了地区的协作配套之外，钱学森认为，各型号院之间也有个相互协作问题。这就是：型号院的领导也必须有全局的观点，除了搞好自己主管的业务之外，还要为其他型号院服务。这件事是十分重要的，不然又是小而全，实是大而全了。例如：一院在惯性器件方面要兼顾五院；二院的结晶玻璃天线罩要支援其他院；三院的冲压发动机要支援二院；五院在遥测方面要支援其他院。那种认为一个型号院不知道另一个院的事的说法是不对的，不是不知道，而是别人的要求来了之后，关心不关心的问题。

技术路线和技术途径的决策，是管理工作的重要内容。有预见、有远见的技术决策会节省大量经费，且发展得更快。这就需要理论的分析和计算。

钱学森说："一般我们所习知的做法是分为两个阶段：预研阶段和设计研制阶段。现在我要提出的问题是能不能把两个阶段互相结合起来，从一开始就根据理论分析提出一个大纲，一开始就搞部分原型机的设计研制工作。也就是我们必须发挥理论工作的威力。美国人搞钚-239才有微克量的时候，就干公斤量的厂子，一下子扩大10亿倍。资产阶级的技术决策者能这样干，难道我们就不敢这样干？我们有辩证唯物主义的锐利武器，难道就不能'月晕知风，础润知雨'吗？我们要超，没有预见，没有远见怎么能行？能从苗头一下子到工业规模，这也是大规模科学实验的巨大威力。"



由此钱学森提出,研制工作是否一定要经过样机阶段?他对此进行了深入的思考。他说:"例如造船,每一艘船都不一样,但从来没有先造一艘样船的。为什么能这样做?那是因为每一艘新船,设计更新并不多,是小改进。所以每艘船都是下一艘船的'样船'。

那么为什么小改进问题就不大,而大改进问题就大了呢?这里面倒不是理论设计的问题,科学理论在今天已发展到这样一个程度,即理论计算是靠得住的。有些东西不好计算,但可以作模型试验及其他试验来解决。真正的问题在于结构和生产工艺,以及结构和工艺互相影响而改变了原来设计中的情况。也就是实物与设想之间有差别。但如果设计中有了丰富的生产经验,那情况就不同了。"

与此相关的一个做法,是从原理工作一下子迈到原型工作。这是有前车之鉴的。钱学森指出:美国的一种惯用做法是逐步从实验室小规模的原理性试验,一点一点摸,直到科学技术人员感到有足够的把握时,才敢搞原型工作。大规模的科研工作尤其如此。

当然在很大的压力下,他们也会打破常规,一下子从原理性工作扩大到原型工作。例如美国1940～1945年的原子弹工作;1964～1969年的登月飞行工作。这个情况说明,只要有各种技能的人努力干,从原理性工作到原型工作之间的距离是完全可以缩短的,甚至可以"一步登天"。我们自己的大庆油田工作;乙炔合成苯的工作等都说明这是完全可能的。

探讨其原因,就在于从原理到原型其中的困难是技术性的,不是理论性的。所以我们的做法应该是,只要原理的问题解决了,就是可行的,就可以下决心直奔原型。然后是发动群众搞设计,一气呵成。

而另一方面原理的问题又必须搞得很清楚,例如受控热核反应就必须认真解决等离子体的稳定性等问题。这个做法不是降低了理论工作的重要性,而是加重了。

钱学森还提出了其他许多管理工作中的问题,这些问题包括:

1. 是不是所有研制出的新武器都要投入批量生产?是否可以考虑有选择地投入批量生产?以减少不断大量换装带来的浪费,以及不断搞新工艺装备的投资;

2. 标准件的制造及大量生产问题,一定要有统一的通盘计划,不能放

任自流；

3. 我们国家的生产厂与部队维修工作到底应该如何安排？是国防工业及部队各搞一整套，还是有相互补充的地方？

4. 如何搞成套的工作？是由各工业部自己配套，然后交给部队使用，还是国防工办配套？

5. 如何搞战时的工业动员？平时到底应该怎样搞好计划和准备？

6. 国防工业的管理技术能不能提高？能不能用电子计算机？

7. 国防工业平时能不能生产民用产品？如何充分发挥国防工业的生产能力？

8. 国防工业的自动化及进洞问题要通盘研究。这不光是个自动化的问题，而且是个保证生产的问题，是个提高产量及质量的问题。应该研究弹药生产全盘自动化的问题，即“无人工厂”（当然不是真正无人，是没有直接生产的工人，而间接生产的工人，维修及调整工人还是要有一定数量的，而且要技术水平相当高才能胜任）。这些问题都是涉及全局的，重要的。

* * * *

1963 年发表了毛主席《人的正确思想是从那里来的》一文，文中提出人类的三大实践活动，即生产斗争、阶级斗争和科学实验。作为一名科学家，钱学森敏锐地注意到毛主席在提法上的变化和发展，即将科学实验与生产斗争、阶级斗争并列，作为人类的三大实践活动之一。他对此十分重视，并进行了认真地学习领会和研究思考。

他在 1968 年 9 月 7 日的《工作手册》中记录了自己对这个问题的看法。他说：“生产斗争、阶级斗争在大家的心目中已有了概念，十分重要，是理所当然的。建设工业、建设农业、建设交通运输也是理所当然的。尤其是前两者，谁都重视，花钱是不会有人反对的。阶级斗争要有人民军队、人民警察，每年的军费也是毫无异议的。但是一提到科学实验，以前总是归人什么社会文教费，连归类的地方都没有，是否不人流？我们认为科学实验是大事，是要花钱的，不能掉以轻心。”

由此，钱学森得出结论说，“科学实验必须作为一个独立的实践活动，引起各方面的重视。”

关于科研和生产的关系问题，钱学森说，“生产力的发展，产量是一个指



标。现在又有一个科学技术水平的指标，这两个东西是有关联的。不可能设想，科学技术水平很低而生产力极大，因为生产力的发展必须以先进的科学技术为基础。

但是从另一方面来看，生产力大并不就意味着科学技术水平很高。例如：在第一次世界大战以后，美国很快地成为生产力最强大的国家，同时其科学技术也有了发展。但当时最先进的科学技术不在美国，而在欧洲，尤其以基础科学为然。

苏联对此比美国自觉得多，看到了科学技术的作用，所以苏联在发展生产力的同时也大力发展科学技术。目前苏联对科学技术（包括基础科学）还是抓得很紧的，大加速器、大望远镜都在干。

认清这一点，我们国家似乎应该先在科学技术上下功夫，然后在生产力上加劲追赶。因为科学技术水平是个质的问题，而平均每人的生产量则是个量的问题。先质后量，先基础后产量也是完全合乎规律的。”

关于科学实验问题，钱学森则进行了深入的思考。他在 1968 年 9 月 13 日首先从宏观上对人类科学实验活动的类型进行了分析，提出了三种不同类型的科学实验活动：

1. 目前搞得最多的是步子比较小的，在一定基础上的逐步改进。如一种产品，或者一种生产过程，通过生产实践，总结经验，有所发现，提出了改进的设想，然后去实现这种改进。每一次步子不大，但多次量的累积，也会出现质的变化，出现跨跃式的创造。如转炉炼钢，从吹空气到吹氧气就是一个飞跃。

2. 另一种是偶然的发现，抓住了，追下去，出了独创，开辟了新的途径，发现了新的自然规律。例如见到苹果落地而想到万有引力；见到底片变黑而发现天然放射性，开始了原子核物理。这里有一个抓住偶然的新现象问题。所谓新，即并非已有科学规律所能预见到的，或说是不合常理的。这自然有个什么是常理的问题，不知常理，也就不能见其新。

3. 再一种是从理论预见到做出实际东西，涉及的深度大，面积广，包括从实验室研究到设计、试制、工厂生产等一系列环节的大规模活动。这是纪律性强的工作。例如：搞原子弹、洲际导弹等。

接着，他又纵观科学研究活动的发展，归纳出科学研究发展的三个阶段：

19 世纪是个人活动、小实验室，没有组织；

进入 20 世纪，爱迪生创造了有目的的科学研究，创造了多部门的研究组织，缩小了从理论到实际生产的距离。到了 30 年代，发展了国家航空研究机构，组织扩大了，为下一个阶段，也就是科学实验的社会化、集体化作了准备；

第三个阶段是 40 年代开始的原子弹工作，那是真正的大规模科学实验。这包括：原子弹、导弹航天、核潜艇等。至此科学实验从分散的、个人的活动，完成了进入大规模社会活动的演变。

对于这三个阶段，钱学森在 1969 年 1 月进一步详细论证说：

1. 科学实验作为一项独立的活动，作为一个人的职业，是自古以来就有的，到了资本主义兴起时才逐渐发达起来。如英国皇家学会早在 1660 年成立，直到 18 世纪才发达起来。

2. 但是那时科学实验的活动规模比较小，也不过是个人的活动而已。而到了 19 世纪后期就开始出现规模超出个人活动的科学实验组织。爱迪生 1867 年开始了 Menlo Park 大的实验室（即研究所），是十分有意义的。它的人员约 100 人，其中有专门解决理论分析问题的数学家，有物理学家，有化学家，还有手艺很高的工匠，有各种技术人员；有机器加工车间，有物资充裕的库房，还有专门的采购人员。到了 1887 年爱迪生迁入 West Orange 的新址，那就更加完善，有研究用的专门图书了。所以爱迪生组织了现代研究所的雏形。

3. 这一转变标志着科学实验从基本上是个体劳动变为集体劳动，犹如从手工业转为工厂，从一家一户转为合作社。爱迪生的成就绝不是他一个人能独自干的，是其研究所的集体创造。因为是一个研究所的活动，就不能不有组织计划，所以研究工作的目的性也就不得不加强。这种目的性也是基于自然科学发展到了一定阶段，自然规律已经摸到了一些，我们对自然的物质运动已经有了把握，有了预见性，才可以定研究计划。这就是说科学实验开始了有计划地工作。爱迪生还有一个研制的概念，即从原理到模样、到试样、到正样、到定型。不光是研究原理，还要出实际东西。这种科学实验的新组织形式很快传播开来，到了 20 世纪初就成为极其普遍的形式了。

4. 与此同时，一些搞基础科学研究的，因为研究工作需要越来越复杂

的设备，反过来也学习企业的大研究机构组织，成为有复杂分工的、几十人几百人的大规模研究集体了。

关于科学实验的第三个阶段，即大规模的科学实验活动是怎样形成的？这要有一定的条件。钱学森归纳说：

大规模科学实验即突破尖端技术，要有一定的物质基础，它们是：一定的工业生产力及生产技术；一定的科学技术队伍；政府的决心（因为这是大事，耗费甚大）；科学家认为有可能成功。

后一个条件是基于对自然界的了解。这在 30 年代才逐渐具备，即对宏观自然的微观基础认识，到了 30 年代才落实了，才落实到原子核，这使人们有了信心。历史上的例子有：E. Sanger 1933 年提出火箭飞机，但条件不成熟，未成功；而原子弹 40 年代在美国成功了；航天 50 年代在苏联开始了。

有了这些理论上的认识以后，联系到我们国家的科学技术工作应该如何组织？钱学森十分赞成聂荣臻在 1967 年提出的组建 18 个研究院的国防科学技术体制调整方案。这与他所认识的大规模科学实验活动必须加强组织，集中力量，形成拳头，不能分散的主张是完全一致的；而且，这样的组织体制也体现了毛主席所提出的科学实验是一项独立的社会实践活动的观点。

在毛主席批准了聂荣臻的报告（即 1025 批示）以后，钱学森曾对这 18 个院的组织体制，从科学的管理和学科的内容以及一些交叉学科的分工划线；特种设备、专用设备与一般设备、通用设备的分别管理；共性问题的提炼与落实安排等等，都进行过深入细致的研究，并提出了自己的意见。聂荣臻和国防科委也很重视钱学森的意见，从善而纳。

但到 1967 年，聂荣臻因"二月逆流"事件受到批判，他关于组建 18 个研究院的体制被说成是"科研脱离生产"的体制。为此，钱学森也跟着作检讨，说自己过去对科学实验作为一项独立的社会实践的认识是偏面的，使科研脱离了生产的实际。由此也可以看出，这位著名科学家在政治运动中的苦闷。

18 个研究院的体制被否定了，但钱学森一贯坚持要建立国家统一的空气动力中心的意见终于被采纳了，该中心当时叫空气动力研究院，在 18 个院的系列中排序第十七研究院。

关于组建空气动力中心的问题，一直是钱学森十分关注的一个问题。50年代末和60年代初，在各空气动力研究单位及有关高等院校，分别设计建造了一些中小型低速和跨超声速风洞。这些试验设备的建成，对开展空气动力学研究试验和教学工作，都发挥了一定的作用。但是，由于缺乏统一规划，以及资金和技术力量不足，有些风洞质量不高，测试设备不配套，而且在性能和尺寸方面多有重复。到1964年，全国已建成各种风洞近60座，但能够承担飞行器型号研制试验的生产性风洞却很少。

为适应飞行器研制和空气动力研究发展的需要，国防科委于1964年3月成立了以钱学森为组长的第16专业组，即空气动力学专业组。其任务是：组织协调空气动力研究和风洞试验任务；掌握本专业的国内外发展动向；提出空气动力学研究发展计划的建议；组织学术交流；推荐重大科技成果等。而成立国家统一的空气动力中心就是该专业组的一项重大建议。

到60年代后期，随着国防科学技术体制大调整，组建空气动力研究院的任务排上了日程。当时决定，以三机部六院7所为基础，再从七机部701所，中国科学院力学所等单位抽调力量，在四川省绵阳地区选址建设。为了建好这座中国空气动力研究基地，钱学森在1967年8月22日对建设脉冲式高超声速试验设备提出：

1. 首先必须明确的是，我们的目的是搞型号吹风装置，不是在搞研究工具，因此，立足点是要能在一定的时间，例如8小时内，吹出几条空气动力曲线。这就大大地提高了效率！

2. 这就要求我们在设计装置时，考虑到比较快地重复放炮，而不能准备一天才放一炮！能不能定下一个技术条件：放炮周期为10分钟？为5分钟？

3. 我们下决心搞短工作时间，即几个毫秒至十几个毫秒，而不去追求几十个毫秒以至几百个毫秒，为的是节约能量，也就是节省装置的规模。我们是以提高测量技术来解决时间短的问题。

4. 同时我们必须注意测量工作要形成一个完整的体系，计算机工作也要跟上，炮放完之后，即刻就有数据。

5. 因此要把每一个装置当作是一台机器，要充分考虑到必要的辅助性的东西。如天平的设计就是个大问题，如何调模型的姿态？还要考虑：装置



会不会发热？如何换隔膜或薄片？如何充气？用自动压力开关？准备状态用自动指示？如何清除废气？

6. 这一套吹风装置也有许多共同之点，因此一定程度的标准化及互换性是必要的。如测量系统就可以统一起来，一加工就是几整套！控制台也可以标准化嘛！

7. 一定要节约，减少投资。充分发挥设备的利用率及潜力。如真空系统能不能共用？

8. 为了很好地体会生产性吹风中的问题，这个设计班子似应到七所、701 所去参观以及座谈，了解情况，总结经验。

在明确了建院的指导思想以后，钱学森提出，首先要抓的是规划工作，排出风洞序列。钱学森说，“建院不能凭空而建，要通过规划来组建。”于是他在 1967 年 12 月提出了自己关于规划系列的设想，并建议由第十七研究院出面，召开一次会议，请型号院提意见，最后审定风洞序列。

在规划确定以后，对于如何组织建院工程，如何搞好全国的协作等问题，钱学森经过深思熟虑于 1968 年 5 月 24 日在和十七院筹建小组同志的谈话中又提出了重要意见：

1. 这是一件非常艰巨的工作，因此也是一件极大的组织工作。

2. 全部设计工作的工作量是十分大的，第十七研究院必须依靠协作，依靠全国的力量。例如热交换系统、大电机、大变电站、大气站等。

3. 全国协作也得建立在一定的基础上，如每个风洞的初步方案设计必须由院设计所会同将来用这个风洞的技术人员来干。有了初步设计方案才能定协作方案。有了协作方案才能向国家提请任务。这是一连串非常严密细致的工作。

4. 十七院要组织好这项工作。过去吃亏就是因为我们对工作量估计不足，没有制订细致的计划，都是随时提出要求，结果不是落不了实，拿不到东西，就是严重地干扰了国家的计划。

在风洞建设的同时，钱学森也给空气动力研究院提出了另外两个任务，即模型自由飞技术和空气动力计算技术。钱学森说，空气动力学数据的取得有三个途径：

1. 主要是靠风洞吹风，但极个别问题可用弹道靶道作试验；



2. 作为辅助方法:模型自由飞试验,用投放及火箭动力推送;

3. 作为新发展的方法,用计算机计算。

关于模型自由飞问题,钱学森说,"模型自由飞的特点是:可以试验操纵性;可以大幅度连续地变速度及高度;可以试验颤振;在美国以前也用模型自由飞来试验高速的再入,但现在既然将建设大型脉冲式风洞,这项工作似乎没有多大的发展了;模型自由飞用来解决新机型的起落及操纵性能看来极有前途;利用现有飞机作附面层控制试验也极有前途;我们要充分利用现代化的工具,即遥控、遥测、飞行轨迹的测量等。我国模型飞机的技术是很不错的,可以吸收到这个工作中来。"

他还把模型自由飞的方法与风洞试验和计算机计算的方法进行了比较,确定它们的工作范围是:炮射风洞靶道及一般炮射靶道;用飞机投放的自由飞模型及自己能升飞的自由飞模型;用固体火箭发射的极高速模型等;测量手段是现代化的遥测。其特点是重量轻体积小而且容量极大,从而模型不需很大,而一次飞行试验就能取得大量数据。

但是模型上的设备还是比较贵的,所以还要重视在一切可能的条件下,回收整个模型,以便多次使用。有了这些条件之后,模型自由飞的特长是解决操纵性能的问题、非定常的问题、尾旋的问题。这些问题对新型飞行器是非常重要的。

除了靶道之外,看来外弹道测量是非常重要的。这就是说,这些外场自由飞试验必须在靶场进行,在那里才有大量全套的外弹道测量及遥测接收系统。自然我们也不要放过型号试验中所有的机会,如在"东风"型号的飞行试验中,测一测弹头的温度及热流量等。

关于用计算机计算的问题,钱学森在 1968 年 2 月 15 日主持召开了《空气动力计算技术工作会议》,他在会上的讲话中说,一般认为空气动力学理论只是设计人员取得数据的向导,具体的数据要通过实际的实验,即风洞、弹道靶场及模型自由飞试验来取得。

但这是比较经典的办法,自然也有发展。新的可能方法是用计算机计算。对此,他具体分析说,超高速空气动力学中的一切简单外形的计算是有成效的,而且速度没有什么限制,比建风洞容易。问题是精度如何?能否在计算机上做精度试验?国外计算机的速度已到 1 000 万次/秒,在这种情况



下摄动法到底有没有用？三维计算问题能解决吗？大家提出来三结合：计算机设计，计算方法研究及力学工作，具体如何结合？变分法，直接变分法怎么样？也有一个将三种方法：风洞吹风、模型自由飞、计算机计算三者互相结合补充的问题。我们总要考虑多快好省的问题，因此是否主要在于代替全尺寸飞行器的自由飞、特高速度和弹性空气动力问题？

进一步讨论要注重以下几个问题：

(1) 有没有计算空气动力学独立能解决的、为型号设计服务的问题？

(2) 计算空气动力学如何作为风洞试验及模型自由飞的辅助工具？用内插、外推？如弹性力学加空气动力学，解决颤振问题。

(3) 网格式的方法及直接变分法、摄动法。总之各种各样计算方法的总结及展望。网格式的方法包括特征线法等是不是等于一种直接利用微分方程的方法？其好处是对气流的情况并不那么需要事先知道，可以直接去求。

另一种是场的方法，即如直接变分法。其好处是可以解决高阶次、多元问题。但我们必须事先对这个场要有所了解！

(4) 要什么机器(指计算机)，大致有多少工作量？

在以后的岁月里，随着计算机技术的发展，计算能力的快速提高，钱学森曾多次指出，要充分利用这种现代化的计算手段，发展和完善计算空气动力学。

* * * *

钱学森是我国导弹航天事业的创建人之一，这么一项大规模的科学试验工作，在创建初期，基本建设任务是十分繁重的。钱学森虽不是搞基建的，但基本建设与型号的研制试验工作关系密切。所以，作为一名技术领导人，他也得学习、思考、研究和总结基建工作，提出指导性意见。

首先他从指导思想上提出，国防工程的基本建设设计有什么特殊点？他结合具体技术项目的基建，提出了以下几个问题：

1. 我们首先必须明确一切试验室、实验室、试验台、实验台的技术参数只能由研究、设计人员自己提。因为这是专业性很强，又带有研究性的工作。例如风洞，研究人员(为此他们也得有个建新风洞的小组)自己提出风洞的尺寸、功率、压力要求等等，由他们自己搞非标准设备，提出测量系统的

方案及仪器要求。这是基本资料。然后基建设计工作分两步走：(1) 结合原提出任务的研究人员搞出风洞的设计图纸、技术资料；(2) 根据风洞的图纸，搞基建设计，包括水、电、气等系统。

2. 由此看来似应在基建设计院中成立几个试验装置的设计室，每个室不一定专搞一样如风洞，可以搞几样相似的实验装置：如风洞、空气喷气发动机试车台、水洞、水槽等；火箭（液、固、固液）发动机试车台、导弹全弹试车台、发射阵地等；静力试验、动力试验、热应力试验等。

3. 基建设计院也应该有几个搞专业设计的工作室，如(1) 水、暖、空调、气源、电的设计；(2) 土建结构设计（一般）；(3) 抗炸及进洞设计；(4) 水文，地质勘察；(5) 内部道路、铁路、绿化等的设计。

4. 应该有个总体部。他们是结合新基地的同志搞一个总体设计布局等。为了搞好这件工作，必须总结经验！

5. 还要有个资料及调研室。搞一些材料并不断更新，例如：如何"干打垒"？怎样建精密车间？各种人员及设备的比例；如何支援农业？如何适应科学实验的不断发展和新技术途径的出现？怎么解决大的基本设备的综合利用？如全弹试车台兼作发射台；多机并联试车台能否与全弹试车台合并？大脉冲电源的综合利用；更衣室的问题；如果工厂放到地下，则空间的充分利用就是非常重要的，空间大，建筑贵。压缩空间，"密植"，自动化就是必要的；还要对全国天然洞穴作一个普查。所以这个室也是个政策研究室！

鉴于这些特点，他认为，对于搞基建的同志来说，这是一个新问题。所以要有创新精神，不能死抱住老一套不放。他之所以强调这一点，是因为基建这件事从古到今我们都在做，做多了，就形成习惯，有了框框。每遇新问题总是想在老的东西上修修补补，不太愿意革新或甚至于创新。

基本建设首先要做好总体规划。一动工，再想改可就难了，所以规划工作非常重要。他以七机部的基建工作为例，指出作好基建规划要注意的九个问题：

1. 七机部在今后的基本建设规划中要注意到各建设项目的组成，其中相互之间的关系，其产品的平衡，以及科学技术的发展带来不协调的可能；

2. 基建规划同时也要明确七机部部外的协作，要其他工业部配套的产品，包括品种、规格及数量；



3. 基建规划还要研究一个地区的布局，其间的交通运输、水、电网、电站等；

4. 基建规划更要研究一个点的布置，如何既有利于生产，又能符合国家的战备原则；

5. 基建规划也要考虑地方民用工业及农林业的情况，研究如何解决大量家属的就业问题；

6. 基建规划还要结合本地区情况，研究教育及福利设施；

7. 基建规划也应结合本地区及区域的整个工业情况，研究战时的工业动员；

8. 要解决包建工厂及包建单位；

9. 考虑整个七机部多个基地之间的协调配套。

他指出，这样的规划工作是一套科学性、政策性极强的工作，所以搞规划的同志既要学习业务，又要学习政策，大概还要引用一些线型规划技术。

他特别强调了基建的总体工作。指出：总体工作的目的是什么？目的是把每个基地建成为能完成规定的科研、试制和生产任务。

总体工作的依据是什么？

1. 中央批定的地点；

2. 上级批定的基地内容和规模；

3. 地区的自然条件如地形、水文、地质和地区的社会条件则要去收集，有的需实地调查研究；

4. 由各院，即使用方提出的基地各单位的内容及工艺要求；

5. 工业、农业的关系，中央的各项政策；

6. 全国的先进典型，自己的经验教训等。

总体工作的任务内容是什么？

1. 提出基地的建设方案，或一个主方案几个辅助方案，供上级选定；

2. 在基地建设过程中，参加基地建设指挥部工作，做使用、设计、施工三方面的协调工作。

因此这个总体工作是新型的总体工作，是我们的独创。他提醒搞基建施工的同志要注意引用新技术，提高施工的效率。他以爆炸工程为例说明：

1. 爆炸的好处是威力大而尤以功率极大为其特点。1 吨黄色炸药的能

量折合成 4.2×10^9 焦耳，而其爆炸时间则为 10^{-3} 秒，功率达 4.2×10^9 千瓦！即42亿千瓦。所以爆炸的好处是能"毕全功于一役"！速度极高。同样的人力，用其他方法，不用机器，也许得干十年，用机器得干一年，用爆炸也许一个月（连打眼、放炮、清除）就行了；

2. 爆炸的缺点是不好控制，好像是破坏力！但那是因为我们还没有掌握它，有些神秘感。一旦掌握了规律，那同样是可以控制好的；

3. 因此建议在中国科学院搞爆炸技术研究设计，包括以下几个方面的研究内容：(1) 炸药的研究，特别是廉价炸药；(2) 爆炸力学及设计工作；(3) 引爆技术及控制系统研究；(4) 大爆破现场工作。

4. 为什么我们用炸药已有1000年，而用于生产目的也有几百年了，但还没有掌握全部规律，甚至还有些神秘感呢？这是因为爆炸的过程极快，都是毫秒级的，而不像其他过程是分秒级的；而人眼的一般观察速度也是分秒级的。这就是说多少年以来，人对爆炸过程看不清，不能分析，因而也就不能很好地去掌握规律。但是自有电子技术以来，测量技术已能分辨微秒以至毫微秒级，即分辨能力提高了 10^6 至 10^9 倍！所以我们现在完全有可能来研究爆炸的细节，也就是说电子技术为研究爆炸过程提供了工具，具备了条件。

他还指出了防御工程（工事）的技术研究问题。他说可以建一个研究所专门研究这方面的问题。主要应该发展模拟方法，即用大能量的短瞬间放电来模拟"有能无质"的核爆炸。也可以用激波管来研究气浪对建筑的作用，研究如何使各种地面及水面结构成为具有抗强气浪能力。再就是用贴在物体上的一层炸药来模拟强压对建筑的破坏作用。也可以用这一类方法来检验新材料。这就要求对炸药的组成及起爆技术有比较严格的控制。

联系到基本建设的一个具体而重大的问题，就是三线建设问题。钱学森在1967年初提出，七机部的三线建设，先要明确几条前提。基本建设这么大的事，部里不集中，下面随意变，这怎么能行？所以他建议给中央专委写报告，先明确干什么，再研究如何干。考虑问题时，一定要把北京、上海这些一线地区现有的能力放在一起研究。在不打仗的情况下，一线的力量还是要充分利用起来。

到1969年他又提出，必须研究三线建设的技术问题。他说，我们现在



在三线建设新的国防工业基地,一般都是照一线的老做法去设想,当然在结合当地情况方面也做了许多工作。但是这样干有个大问题,即三线气候条件一般比一线要差,"三防"的问题很大。加上进洞,如何搞,没有一套经验。所以现在如果不抓这类问题,将来很可能建成了又用不上几年,设备损失很大,那将是一个十分严重的问题。

现在已经进洞的车间,发现有漏水、潮湿等问题,工人也因潮湿而患关节炎。因此车间如何进洞必须认真研究,切不可草率从事。能不能设想进洞采取高级建筑,有空调。但这样一来,每立方米的造价极高,极高的造价就要求我们充分利用空间,把机器的密度大大地提高。这就成了和潜艇相似的问题,即要求自动化的生产,减少工人数。

再有一个问题是:一线的生产工艺本来是十分落后的,可以说导弹工业并没有建成,导弹生产还处在手工业时代,"该锻该铸的,用机加工;该机加工的,用钳工干"。也就是没有现代化的成批生产。在三线这样建,建成了就得改造。所以三线建设决不能是一线的翻版。这里面是什么问题呢?就是我们没有认真去抓三线建设里的技术问题。当然他也提出,要依靠当地的力量,不能什么都从北京、上海搬去。要注意地区配套等重要问题。

*　　*　　*　　*

材料问题,无论是金属材料还是非金属材料,都是"两弹一星"中的一个基本问题。而"两弹一星"是尖端科技,它们所需要的材料也不是一般的"大路货",可以叫尖端材料。一般是从大量原材料中提取少量,有其特点,也有一个高纯度问题。所以,钱学森在"两弹一星"工作中,也花费了很大的精力来抓我国的材料工业。他是物理力学的开拓者,所以对材料问题,从微观到宏观,都有深刻的见解。从 60 年代到 70 年代,他对材料问题提出过许多富有远见的指导性意见。

首先他提出,我们所需要的材料,要能经受得住严酷的条件,既能耐高温高压,又能耐低温低压,即在这样的条件下,还要有很高的强度。为了减轻结构重量,材料本身也要很轻。那就是说,重量要轻,强度要高。

影响强度的最重要的因素是什么?是纯度。如果材料中混入了杂质,则晶格的排列就会错位,强度就大大地下降了。为了提高强度,人们主要从两个方面寻求努力:一是改进冶炼技术,提高纯度;二是从工艺上突破,即设

法使材料的分子按细丝状一个一个有序地排列，做成很细的丝，然后将这些丝在模具上有规律地缠绕，再用粘接剂粘接起来。这就是所谓的复合材料，它在本质上也是达到原子分子的有序排列，消除了错位，同样提高了强度。

关于钢铁材料，钱学森在1968年6月15日提出了钢的精细化问题。他说：提高钢或称铁合金的强度是有潜力的，即便提到400千克/毫米^{2}也是有可能的。走这条路的好处是：问题比较熟悉，有多年的经验基础。但是要能够真的使用这些特高强度的钢，把它在实际中体现，那就又有一个革命：即脱离“大路货”，“粗粮”的观点，要进入精细化的新阶段。要非常严格地控制其生产工艺，防止杂质的侵入，用保护层、保护气体。这是个钢铁工业大革命的问题。其实这也是很好理解的。事物总是向深化方面发展的，在百年前我们不可能有今天这样的分析工具，不可能把钢研究得那么细致，因而也不可能提得那么纯！但这也带来一个设计上的问题：应力大大地增加了，但是材料的杨氏模数并没有加大，那就必然引起变形的加大，这会引起机械及结构使用方面的问题。这也提出了一个多用拉应力，少用压应力的问题。压应力的弹性失稳是不会增加的，这就是说要采用新的结构形式。这也可以说是结构设计的方向，因为材料的研究总可以提高强度，即拉应力，但杨氏模数现在还没有方法提高。另一面失稳也是可以控制的。例如：圆筒的轴压失稳可以用内压来提高。这就是一个结构设计同系统功能设计相结合的问题。

他在1968年8月与七机部材料研究所的同志谈话中指出：一个方面的工作是精细化，通过精细化来提高材料的性能。例如钢材。一般的钢材，强度才50千克/毫米^2，但目前通过精炼，热处理，有的确可以达到300千克/毫米^{2}的强度，即强度之比是6！难道说钢是特例吗？别的材料就不能做到吗？所以这项工作的可能性是很大的。工作中包括相图及相组分的研究，也包括材料的强度理论。

再一个方面是弥散强化，实际上这个问题也可能同前面的问题是连着的，即如果不能通过冶金热处理的方法来产生强化的组分，则可以用人工加入新的组分。

第三个方面的工作是扩大材料的选择，不怕在空气及燃气中的氧化及分解，那可以用保护层的方法来解决。从而引用碳化物、氮化物、硼化物。



研究这些“怪”材料，因为它们熔点高，密度不大。

第四个方面是石墨。石墨是个特别的东西，一定要研究。

第五个大问题是复合材料，即用金属、塑料等粘接剂把高强度的丝粘合起来。它们是高强度玻璃丝，高强度硼丝。这里有大量的工艺问题。

第六是金属间化合物，如 $MoBe_{12}$、$NbBe_{12}$、$TaBe_{12}$、Ta_2Be_{17}、$ZrBe_{13}$、Zr_2Be_{17}等是好的高温材料。它们是以粉末冶金法成型的，能否成单晶部件？而单晶可能寿命更长。

最后尤其要注意理论，材料工作以往对理论太不重视，有理论又脱离实际。我们不能创造熔点，但其他可以改变。

他接着又指出，美国人在高强度合金钢壳体上也花了很多力量，他们对工艺十分注意；也考虑到焊缝的强度会降低些，所以把材料在焊缝处蹲厚些。总之设备也很洋。我们工厂的条件是很土的，开始没有认识，所以结果很差。现在已有了认识，可以用土法，加强检查来解决。可见土法也行！现用的 32SiMnMoV 钢好处是不用我国缺少的 Ni，Cr，Co 等元素。根据现在的经验，用 2.5 毫米壁厚，770 毫米直径的圆柱壳，如加强检查，达到 85 大气压是有把握的。进一步用 40 号钢。马氏体时效钢太贵了。但问题主要在于材料、工艺、设计的三结合。40 号钢的好处是鞍钢用平炉生产，我们可以精选。表面脱碳也可能还有好处，即表面的损伤，可以因塑性加大面减小敏感。总之，这也证明以前我们关于钢的精细化的说法是有道理的。

关于复合材料，钱学森说，复合材料发展和推广使用的速度很快。从 1930 年开始的 30 年代，发现金属位错的理论，提出金属变形和强度的理论；到 1950 年开始了胡须状材料的极高强度的发现，以后制备了须状材料；1955 年提出复合材料，利用胡须的强度；1960 年开始胡须的生产工艺研究。所以从胡须的发现到现在也有近二十年的历史。因此如果不作预先研究工作，高速度地发展材料科学技术是不可能的。

在复合材料中首先得到应用的是玻璃钢。他在 1967 年 3 月指出，玻璃钢新近的一项发展是一种叫 S-994 的材料，他说，这种高强度“玻璃”纤维 S-994 的组分为：$SiO_2$65％，$Al_2O_3$25％，MgO10％，9.7 微米直径的丝，在 24℃时，抗拉强度为 489 千克/毫米^2，在 816℃时为 83.9 千克/毫米^2。以 80％的纤维＋20％的环氧树脂制成的玻璃钢，其密度为 2.03 克/厘米^3。将来用

各种金属胡须也能制成更强的材料。

1969 年 7 月 15 日，他归纳了复合材料几个方面的发展：

1. 碳丝复合材料。制造方法：用合成纤维丝在有张力的条件下，在高温炉中碳化，并使结晶顺纤维方向排列，从而取得高杨氏模数和强度。

用粘胶丝，在 2000℃，可得约 21100 千克/毫米^2 的模数。用聚丙腈丝，在直到 2600℃的电炉中碳化，也在拉紧条件下，可以取得 211 千克/毫米^2 的强度和 42200 千克/毫米^2 的杨氏模数。即便在千克批量生产的情况下，也可达到 176 千克/毫米^2 的强度和 38700 千克/毫米^2 的杨氏模数。

2. 硼丝复合材料，制造方法是用一根直径为 12 至 25μ 的钨丝，在这上面沉积硼，直到直径增至 100μ。为了使硼丝能抗一些诸如铝的作用，再在硼丝上涂上一层碳化硅的保护层，名为 Borsic 丝。所谓 Borsic 硼须(0.004 英寸直径，即 0.102 毫米粗的丝)平行地放在铝箔上，用等离子枪喷涂铝，形成薄带。这种硼丝的抗拉强度为 281 千克/毫米^2，薄带上每一英寸宽度上有 175 根丝。带重的一半是硼丝的重量。用这种带作风扇叶片时，将带裁截成一段段，叠在模子内，用热和压力成型。在叶根处注意使丝随外形而变，不要断丝。这种复合材料已经进入到实用阶段。

3. 用钨丝形成的耐高温复合材料。这是用极细的钨丝作纤维材料，也是缠绕工艺；粘接材料是用等离子喷枪喷出的钨。这种复合材料已经试过，能耐火箭发动机喷管喉部的高温，据说燃气温度可以超过钨的正常熔点 3400℃。因此这种材料可以用于：火箭发动机、高温炉、燃气发生器、X 射线管的靶、直线加速器的靶(产生 X 射线)、超速飞机机翼的前缘、再入体的防热层等。看来这种材料比钨金属旋压件好，要开展这方面的工作。这也给我们以启示，即所用的丝可以多种多样，粘接材料也可以多种多样。可以用其他的高温材料作丝，也可以用其他的高温金属或合金作粘接剂。所以这也是复合材料的又一个发展方向。

他指出，用复合材料的好处是生产飞机和导弹部件时不需要特别的、重大的加工机械，从而可以节约制造这种机器的投资和时间。这一点对我们是有很大启发的，我们国家机加工设备少，用机加工去雕出结构件的路是不合适的，复合材料不用这个办法，这对我们非常有用。困难是设计工作因为因素多而复杂化了。大概手册式的资料是不会有的，也许得用电子计算机



才能设计,即多方案比较才行。

最后他还提出了一个使人深受启迪的问题,即是否把材料研究同成型工艺结合起来为妙?例如搞所谓单金属晶体的耐高温件,材料与工艺很难分开。又如复合材料,形成材料也就制成部件了。由此他提出,应开展以下几方面的研究工作:定向结晶的石墨、超强度钢(与工艺相结合)、硼须、单晶件、铍化物、铍及其他金属的金属间化合物、复合材料、氧化物弥散强化金属。

他还提请冶金和建材部门注意材料的综合利用问题。他举例说:冶炼的炉渣可以用来生产建筑材料,如矿渣棉、矿渣砖、矿渣水泥。有不少建筑材料的生产也可以生产副产品的矿石,如稀有金属。开采一种,同时生产另一种。建筑材料中的玻璃、水泥也同时是工业的原材料,如玻璃钢,水泥船等。

*　　　　*　　　　*　　　　*

钱学森十分重视研究总结“两弹一星”工作中的共性问题和个性问题,即一般性问题和特殊性问题。对于这两类不同性质的问题,要归纳总结他们各自的内涵和规律,分别不同的性质和职责去处理解决。处在国防科委的领导岗位上,钱学森尤其注意共性问题的统筹解决。

首先钱学森提出,在国防科研系统内,通用性的大型设备和技术最好集中起来。这包括以下几个方面:

1. 计算速度极大,贮存容量极大的电子计算机,一家独占可能不会充分发挥其作用。如果集中起来成立一个计算技术中心,此中心包括以下几个方面的工作:(1) 新电子计算机的研制;(2) 已有的计算机的维护;(3) 新计算方法的研究;(4) 生产性的计算工作。

2. 计量工作也要集中起来,成立计量研究院或计量中心。也可以考虑把分析化验工作集中到这里来,随同计量站设地区分析化验中心。将来与地区的器材供应中心结合起来。

3. 在国防科委体系中,重型设备的机加工工时比较多,因此除各研究院自已有的试制厂之外,应该有重型机械厂。

除此之外,他在 1969 年 7 月 6 日又总结了各型号院共性的问题:① 标准件的供应;② 材料、器件的地区仓库和化验分析;③ 计量和仪器的维修

标定;④ 标准化问题;⑤ 中央计算站(即地区计算站);⑥ 劳动保护问题;⑦ 情报资料问题,包括图片、电影;⑧ 机械、机床的维修。

他说,看来以上这些问题:第①、②、⑧项由工业部门去解决为好;第③、⑤、⑦项由国家科委去解决为好;第④项标准化工作,总的在国家应该有统一管理的部门,如国务院下设国家标准局。有了这个统一的机构,下面各单位自己的工作就可以发展了。国防科委还要抓一下第⑥、⑦项,因为这里有机密性比较高的问题。

器材供应的共性问题是:① 电子元件、器件、仪器的供应;② 标准件的问题;③ 机床的问题。电子元件、器件、仪器属于一类性质。目前是向国防科委口以外要,这越来越困难了。因此国防科委必须建立起自己的供应系统,并安排四机部生产。而标准件,如:螺钉、螺栓、螺帽、钉子;管子、阀门;组合夹具;电子管、晶体管、电阻、电容、电感、继电器;接插件;弹上电源,包括一次电源和二次电源;电线、电缆、微电机;液压元件、气压元件、电爆管、电爆器、射流控制器件等的生产是一个重要问题。不能像过去那样由各工业部门自己去搞。一定要全国统一规划,分区配套生产,分区供应。他还特别细心交待,技术上应该尽量避免用切削加工,而用无切削法。

电缆在弹上用得是很多的,因此它也是导弹轻量化必须解决的一个问题。看来能有什么办法呢?他说:

1. 减少仪器的耗电量,即减少功率,晶体管化,进一步要集成电路化。这样电线就可以做得更细;能不能变铜线为铝线?大大降低绝缘和包复层的重量,提高包复材料性能;改进电缆网的设计,减少往返电路,减少电线长度;减轻接插件的重量,改进接插件的可靠性。

2. 一个革命化的措施是把电缆网同结构结合起来,即弹体结构就是一个大母线。把电线埋在壳体里,一面是强度的作用,一面是导电的作用。

3. 能不能在弹体外壳封闭的条件下,在弹体内部用无线电传播信号,不用电线?这三个问题也是第一步、第二步、第三步的发展途径问题。

国防科研中的个性问题,突出的就是非标准设备的加工生产问题。钱学森说,那么多的研究院所要的非标准设备很多,有些也很大,工时量十分庞大。因此就必须考虑在国防科委系统中有几个强有力的非标准设备加工厂。有些非标准设备的加工应该安排在国防研究院的试制车间或试制厂



中。因为非标准设备一定数量少，不是成批生产，是试制性的。国防科研系统干不了的，似可安排在国防工业的工厂里。国防工业的工厂里也安排不了的，再安排在其他工厂里。

另外，像机械设备的精修问题，他说，七机部有那么多精密的机械设备，维修保养是个大问题。因此，他也建议要建一个机床设备精修站，主要是生产精密备件，然后派出小组，带了备件同工厂的维修人员及使用机床的工人，一起来修好精密机床。

他也很注意“两弹一星”中哪些是有批生产任务，需成批生产并装备部队的，如“红旗”系列的地空导弹，“海鹰”型号的岸舰导弹和“上游”系列舰舰导弹，以及舰空导弹，空空导弹等；而有些型号则无批生产任务，如液体推进剂的弹道式导弹，固体推进剂的弹道式导弹，核潜艇和潜地导弹，卫星及其运载工具等等。并注意研究这两种类型武器的科研、试制、试验、生产及其管理的经验各有什么不同的内涵、特点和规律。

根据这一考虑，钱学森归纳出在国防科研和国防工业系统有四种类型的科研、生产单位：1. 科研为主，试制出样机，直到定型；2. 科研为主，试制后继续生产，装备部队；3. 以大量生产为主，也有改进工作。如制导站；4. 科研及生产相结合的。

不管是批生产还是少量生产，都有一个定型的问题。关于定型问题，钱学森归纳有以下三种情况：

1. 新型号的研制到飞行试验完成后，要求定型委员会决定是否要投入批生产，即由科学实验转入生产阶段。这是个研制定型问题；

2. 研制定型后交批生产单位（工厂）投产，投产的先锋批，也还要到靶场检定，检定结果也要向定型委员会报告，请定型委员会决定是否可以开始大量生产，这是生产定型或称生产鉴定。如果设计上有修改，则先锋批打靶以后，也可叫设计定型，然后投入批生产，所以还是一个生产定型问题。

3. 以生产厂和使用部队为主，设计单位参加的“三结合”，对产品作了较多项目的改进，这也要在靶场进行多次飞行试验，然后要求定型委员会决定是否要投入成批生产。这又是一种生产定型，或称（生产）改进定型。三种情况似以第一种最慎重、最繁，而第二种最简单，第三种则居二者之间。

定型以后的试验工作怎么办？钱学森指出，试验发射队伍总有个逐步

随研制工作的进展，转到新型号去的问题。而定型后的试验工作，如批次检验、贮存后的检验等。以工作量来说并不多，但又不能没有，所以还要保留少数技术人员。在这些工作中，使用部队的参与是必要的，可以使部队得到锻炼的机会，有利于部队技术人员的成长。

关于定型以后的生产问题，钱学森认为，如果一个型号研制成功以后，有比试制量大10倍的生产任务，那就要建立工业生产，属成批生产问题了。这中间有些什么问题需要注意解决的？钱学森说，首先一个问题是如何尽可能地缩短转厂周期，使定型后的型号早日成批地生产并送到使用部队手里，这就是从试制到批生产的过渡问题。这有几个方面的工作要做好：批生产的工艺准备；图纸的成套及相应的技术资料；材料规格的提出；生产人员的必要培训；元件、器件等器材的供应、库存问题；设计中引用的批生产成品件和标准件问题；标准计量问题等。

其次是批生产中的质量、可靠性及产品改进等问题怎么保证？钱学森认为，质量、可靠性及产品改进都联系到总体，因此科学实验部门中的总体部还有工作。所以，即使投产了，总体班子也还不能拆散，工作到废型为止。对于批生产的质量，可以用批生产质量检验的一套办法，这和其他工业生产没有什么不同，只是要求更高更严罢了。当然，为保证产品的质量，对元件、器件的入厂检验要建立一套严格的制度。为了保证生产的质量，他认为工艺是一个重要问题，不能轻视，要有专人研究，不断改进。他还提出，导弹用地面车辆及设备的通用化、系列化工作，这是与弹的批生产配套的，也体现批生产的特点，要有专门的人来抓。

关于战略武器的科研、试制、定型和少量生产问题，钱学森说，根据我们的经验，从预先研究开始，经过设计、试制、飞行试验，定型以至少量生产提供部队使用，以后也就不再生产，但可能还有一个时期的维修及修复工作。整个过程可能有七、八年以至十年之久。这全部工作都是在一个研究院的管理下搞的。对"东风-2号"，我们的道路和经验、教训很多，一定要很好地总结。什么时间总结？太早了，定型后生产的一段经验可能还总结不出来。太晚了，人员队伍可能又散了，不能集中。所以要记住这件事，适时总结。

武器生产出来，要交付部队使用，使用中的问题也是钱学森很关注的。他说，我国国土幅员广大，地区气候差别也很大，如果武器系统要适应地区



情况，这就有一个地区的专门化问题，设备总要有些适应的措施。这就是说部队的区域化，即严寒部队、潮热部队、高原部队等，装备是不同的。这种局部改装工作，可以在生产厂生产时搞，也可以在维修时搞。由此也提出了武器要经过严寒试验和潮热试验的问题，并建设相应的实验设施。

尖端武器交给部队，如何培训部队人员成了一个大问题。为此，钱学森建议，使用部队对型号工作，要学试验基地的作法，从设计开始就派人到型号院一道工作，逐渐掌握情况。到飞行试验的时候就进入试验基地，从全弹试车开始，到合练，到打遥测弹。定型后回到部队的作战基地。在弹的抽检时，也要到试验基地承担任务。

当他发现"东风"型号在设计定型后，开始生产交付部队时，生产中的技术问题无人处理了，部队的同志对新型号又不熟悉。他立即要求七机部，不要过早把技术人员从一个型号队伍中调出来。过早调出来的结果是型号要交部队了，反而大撒手，无人管了。为了总结这一段的经验教训，解决这个问题，我们要考虑把定型时的设计人员保留下来，从总体到分系统，到关键部件。这个骨干队伍不能解散，也不许换人，必须是原来研制工作中最有经验的人。这个队伍加上使用部队发射团的同志，先组成一个新型号技术班子。由原来的人当老师，学习介绍经验。这个技术班子负责以下几项任务：① 定型抽检飞行试验和部队训练飞行试验的技术参谋；② 培训发射队伍；③ 负责批生产中的技术问题，当军代表。型号院的人到什么时候撤回？到型号的全部生产任务完成时撤回，或到部队能负责以上三条任务时撤回。估计这要有两年时间。

当他发现，部队有许多装备向七机部外的工厂去订货，因为是非标准的东西，所以订不到。但这些东西七机部的工厂实际是可以生产的。所以他问：为什么七机部不能为部队服务呢？为什么不能放到七机部的工厂去生产呢？我们应该把七机部同使用部队的关系密切起来，即使不在一个单位，也要体现为一个目标服务的精神。

此外，他也提出了定货、验收、对接系统及经济结算等之类的问题，并召集部队和七机部的人员开会，协调解决这些问题。他还强调，部队要的是整个武器系统，而现在往往地面设备跟不上，弹快而系统慢！之所以产生这个问题，是由于我们自己对成套交付部队的概念不够强的缘故，地面设备的工



作要跟上。

总之，他强调，交付部队使用要特别强调质量和可靠性问题。这种战略性的导弹核武器，东西那么少，使用的机会又那么集中，所以一定要使部队平时非常熟练，对每一发弹的情况摸得很透，熟知其履历，以便区别对待，采取措施，保证发射成功。

关于大型机械设备的设计、加工、制造问题，也是“两弹一星”工作中的一个共性问题。钱学森说，由于我们的任务是发展尖端技术，因此一定会不断提出要求很突出、从来也没有做过的大型复杂的新设备。

这种要求一提出来，开始大家可能感到很难。但是所谓复杂，所谓新，其实是综合起来的看法。如果我们把设计分解开了，从单项技术来说，那还是老问题。我们国家现在基本上是具有这些单项技术的。当然有时也会出现比较新的单项技术，或大大放大了的单项技术。所以我们是具备条件的，当然条件不是聚在一处，而是散在全国。这就是个组织问题！

国防科委各研究院作为使用单位自然积极性最高，而且他们出于将来组建实验室的需要，自然也会搞一个小班子。这个小班子可以说是核心，因为他们不但现在积极性高，而且负有彻底搞成这项大型设备的责任。但这个班子又是缺乏新设备的知识及经验的班子，他们先要当小学生，学习，再学习。

所以这个小班子单独是干不成的，一定需要各种技术及经验。而技术和经验又散在全国各地、各单位、各部门。所以，只有通过国防科委，从全国各地、各单位、各部门，自然也包括国防科委各院本身，指名调集、借调一批人，组织完成任务的临时集体。他们带着一项技术来参加设计，而他的原单位就是支撑他的强大后方。这个临时班子搞设计，出图纸，落实加工，负责安装调试，最后交给使用单位的小班子去运转。而负责运转的小班子也在这一整个过程中，学好了他们必须学到的新业务。

对于一些大型构件的加工，是用爆炸成型，还是用水压机？对此，钱学森也有自己的分析和看法。他说，用水压机是比较老的办法，因而稳妥可靠。但是也有一个投资比较大，而且一旦再要扩大尺寸，就又得安装新的更大水压机的缺点。爆炸成型是一个比较新的工艺，好处是投资小，且伸缩性大，据说工艺的精度也是很高的。缺点是大家对这种技术把握小。我们一

定要向前看,而且爆炸成型已经搞了不少年,1959 年到 1969 年,10 年了,我们是有成绩的。美国人都用了,我们还不敢用嘛?

大离心机是导弹和卫星地面试验设备中不可缺少的设备,而传动系统是离心机的核心部分。对大离心机传动系统的几种可能方案,钱学森进行了分析比较。

他说,最老的是用交流同步电动机,或交流异步电动机(基本上转速不变)去带一台直流发电机;通过励磁的控制,取得不同电压的直流电,再用它去驱动直流变速马达。这好处是非常可靠,坏处是投资大。

在以上传动装置上的革新是用变压器把交流电压变动,然后再把变电压的交流电通过可控硅整流器,成为变电压的直流,最后用它去驱动直流变速马达。这好处是投资少了些,坏处是可控硅整流器的质量在我国还不太稳定,产量也少,可能定不到货。

另一个方法是用交流电动机去驱动流量可变的油泵,用变流量的液压去驱动变速液压马达。这可以多个并联,共同驱动一个主轴。这个系统在我国已经过了关,好处是投资少多了,坏处是比较新,会有一些小问题,如密封问题等。

电力的使用是个广泛而又普遍的问题。钱学森认为,我国工业上必须大力抓一下电机的生产问题。现在工业系统的电机分布于:大电机的设计、生产在一机部;地方上还有不少电机生产厂;国防工业也生产一般的电机,还生产微电机、特种电机。这种混乱情况必须改变。要明确一般电机由一机部统一管理,负责改进。同时要标准化、序列化,从几万千瓦的到几瓦的都是如此。特种要求的,由国防工业部门自己解决。总之要重新调整生产,不能再重复下去了。

钱学森认为,质量和可靠性问题对于弹道导弹、人造卫星及其运载火箭、核弹头等尖端技术尤其是一个非常重要的问题。当然这里面有一个教育群众,提高认识,确保质量和可靠性的问题。在此基础上,也要有专业的质量和可靠性队伍,进行质量和可靠性研究,制订质量及可靠性的标准和计划,提出组织上的措施和检查鉴定方法等。

怎么保证弹道导弹的质量?钱学森说,我们的经验是:

1. 设计的正确性。这是通过飞行试验来认定的。经过初次的飞行试



验就算有了保证，定型之后就更有保证了。但必须注意，定了就不能再改动。未试飞，是靠查协调；

2. 关于元器件及外协件的质量，我们只能靠精选；

3. 生产工艺的正确性。主要靠人的责任感，再就是靠测试。在设计的正确性定了之后，主要就是这个问题了。

在质量和可靠性研究工作中要用数学。关于这个问题，钱学森说，这方面的工作似乎可以分成两大类型：一类是微分方程及偏微分方程的问题；一类是统计、概率等统计数学的问题。

微分及偏微分方程的问题是求解，而求解又可以分为两类问题，一类问题是理论的发展，看趋势的问题，这里最重要的是摄动法的理论，包括小参数的展开，PLK 方法等。

另一类问题是结合计算机，求精确数字解的问题。这里面也有两种方法：一种是“微观”的，或网络的，诸如差分法、特征线法。另一种则是“宏观”的，或场的方法，诸如变分法等（在翼面理论中的马蹄涡线法也属此类）。

这些问题都宜结合具体课题来搞。所以数学人员要分散到各研究单位去，不宜成立什么专业的应用数学研究所。以前这方面的工作没有做好，要么脱离实际，空谈理论；要么只是解决一个个具体问题，而不注意从理论上加以总结。我们应该重视工作实践后的总结，每年开总结会（全国性的），提出理论性课题，并安排研究。

统计数学类型的方法有一个推广到广大设计人员及技术人员的问题。一般大家都知道一些“定确的”数学，知道用代数，用微积分。而一到统计数学就感到没有学过，有点神秘感。其实设计中的总体问题，以及可靠性指标等，日常用的统计数学就够了，这并不难学，有一个短期训练就行了。因此搞统计数学的同志要下到各个设计单位和工厂中去，一面帮助工作，一面开训练班。也可以从这里收集更加难解决的问题，集中到一个专业研究所专门研究解决。

当然，可靠性工作也会大量使用电子计算机。他说，现代电子计算机是一个非常有力的计算工具，加上“随机数序”，我们就可以用它来做概率性的计算，或者也可以称作计算的实验，从实验引出可靠性的结论。以前我们完全从理论出发，的确对复杂的连环套式的概率计算感到困难。这有点像习



常的微分方程，有时一具体化，就感到求解、求解析解是困难的。但是如果不求解析解了，直接算数字，也许通过电子计算机，问题也可以解决。

在“两弹一星”工作中，钱学森始终都注意抓标准化问题，他说这是现代化大生产中不可缺少的一项重要工作。但标准化不同于别的问题，要强调统一抓。

国防科研生产中的标准化工作怎样组织？他说，标准化工作如果放到各工业部去做，就可能不完全统一，例如航空与导弹，航空与航天，电子与导弹、航空等。它们都有共同性，共同的最好标准一致。我们过去曾用苏联的一套，就各不相同。如果大家要求一致，那就是互相采用标准。但因部门不同，重复颁发标准，也做了不必要的劳动。因此最好是统一集中，由一个单位来抓。这个单位是国家科委？是国防工办？是国防科委？

国家科委应该搞，但正如计量工作一样，国家科委全包下来也有困难。国防工办系统虽然使用标准，但它是个机关，没有研究单位，不好做这件工作。所以还是放在国防科委为好。放在国防科委，也可以使科研设计单位重视标准化工作，便于投入批生产及保证质量。

为统一集中，加强研究，促进国防科学技术的发展，可以考虑把标准化单位同计量中心放在一起，形成计量及标准化中心。计量工作全国要有计量中心，各地区也要有计量站，形成全国的计量网，对使用的仪器随时进行校正维修。

在“两弹一星”工作中，钱学森也强调要重视理论工作，相信自然科学的规律。这不是理论脱离实际的问题，而是要用科学的理论，通过计算，形成一种判断，看出苗头，来帮助我们下决心。

他说，搞导弹的人，学工程的多，他们有一种倾向，即相信实物，通过实物的试验去解决一切设计问题，这也对。但问题是我们怎样才能更快更省地办这件事？一个办法就是学会理论计算。所以他在 1968 年 8 月 15 日指出，尖端的东西现在看来都包括了，还缺什么呢？缺的就是抽象的东西了，即应用数学。我们一定要提倡实验与计算相结合，充分发挥理论工作的威力！实验当然也包括实物或半实物的模拟试验。

根据这样的认识，他在 1968 年 6 月 17 日对地空导弹的定型工作作了充分地肯定。他说，现在可以说我们对地空导弹的定型工作有了一个飞跃，

从只知道打靶试验，进入到既知道要打靶，也知道要做数学模型的模拟计算，又知道用地面局部飞行试验来解决引信的问题，还知道用半实物的模拟系统试验。这样就真能多快好省了。但也必须承认：我们还缺乏全面的实践经验，四个方面的实验如何配合得好，要大家来讨论研究。

搞理论计算要有工具，那就是大容量的高速电子计算机。钱学森对电子计算机和计算技术的前景在 1968 年 9 月 7 日进行了全面地论述，其中包括在国民经济中的应用。

他说，计算速度极大、贮存量极大的电子计算机正在进一步发展，在不远的将来，运算速度可以达到每秒一千万次，信息贮存也可以大大提高。另外模拟计算机也将同数字计算机的原理结合起来，开辟新的道路。模拟计算机自有其使用的方便，又有实时性的特点，因此对设计人员，特别是在搞初步设计，精度要求不太高时为然。但模拟机的精度有限，因为总脱不开元件本身在多变环境条件下的物理性能变化，即便在非线性及函数发生器电子化了之后，也是如此。

但型号设计中有一个用全部数学模拟打靶阶段，这用高速的数字计算机最好。因为是全部数学模拟，所以也不必是实时计算，这样精度高，随机因素可以引用随机数法来解决。这种打靶是设计阶段后的重要手段，用来检验设计方案，试验新方案，探索新途径。

所有这些发展都将进一步促进电子计算机在以下几个领域中的应用：① 工业生产过程自动化中的控制机；② 复杂武器系统中的控制机。但是我们必须在其他的方面，对如何充分发挥电子计算机的作用做些工作。这些方面的可能应用是：

1. 规划及计划经济、生产经济技术中的应用。即长远规划的平衡，多种方案的比较，年度计划的平衡，企业库存的核算、平衡，统计工作（运筹学），日常工、农业的调度。这就是要把近代数学及计算技术作为国民经济管理的一个有用工具，我们不能用中世纪的工具来搞二十世纪的经济活动。

2. 信息处理技术中的应用。包括情报资料的分类、归档、贮存、提取，自动化翻译，有人及自动化情报监视系统。

3. 基础科学研究中的应用。即中国科学院基础科学研究中的复杂计算，如基本粒子的研究，宇宙演化的研究等。



4. 工程设计中的应用。包括:方案选择,设计工作中的详细计算,气动力学计算,核爆炸的计算,分子性能及宏观性质的计算等。

为了执行这方面的任务,我们必须开展计算机的科研、试制,计算机的生产,以及使用维修,计算人员的培训,计算数学的研究,经验交流等工作。

钱学森很早就注意到尖端技术如何为国民经济服务,推动和促进国民经济发展的问题。他在1969年9月30日曾形象地指出:尖端技术犹如一座宝塔的尖,其成果要向宝塔的下层扩散,下面是哪些层次?他指出:第一是航空工业,包括民用航空工业;第二是常规武器;第三是大型基础工业,如发电及电力、铁路、轮船、钢铁、水泥、化工等部门;第四是轻工业、教育、商业、医疗、住房、农业等。我们必须有计划地推动这个扩散。第一项、第二项比较好办,都是国防科学技术,容易扩散。需要努力的可能是第三项,即走出国防工业的大门。这件事要狠抓才行。

接着他又指出,我们的尖端促进了哪些民用技术的发展呢?

1. 发展了各种新材料,如新型合金、复合材料、塑料工业等;

2. 发展了各种产品,如小电机、微电机、仪器等;

3. 发展了电子基础工业及计算机工业;

4. 发展了一些高新技术,如遥测遥控技术,用于工业生产自动化;燃烧过程的强化技术,用于磁流体发电等;

5. 大大地促进了地区工业产品的配套程度,促进了地区工业的现代化。这就提出一个地区的规划问题,我们必须了解一个地区的工业情况,也必须有意地去培植一个地区的各种工业。

同时他还提出,在核技术方面,要考虑原子能发电问题,研究原子能发电同火力发电、水力发电、风力发电和潮汐发电的关系。推广放射性同位素的应用。

七机部在搞固体火箭发动机的同时,也要考虑这种高效固体推进剂如何推向常规武器和民用工业的问题。这就要同时开展高能高爆炸速度的化学炸药的研制;各种点火器的研究,以及各种爆炸分离的火工品,如爆炸螺栓;在真空条件下工作的火工品等方面的研究工作。也就是说,我们要开辟一个"民用"固体推进剂,并由此而生产一种成本较低的固体火箭,这种火箭甚至可以放到焰火工厂去生产,发展一种"土"火箭,用来防雹等。

他说，我们的思想应该解放，引用更廉价的粘接剂，如沥青、石蜡以至面粉糊等。这方面的创造也是无穷的，好在对小火箭来说，推进剂的力学性质不是个关键问题。

钱学森后来也提出，对军工企业来说，有一个“军民结合”的问题；而对民用工业部门来说，也有个“民军结合”的问题，如机械工业要生产高精尖的机械设备；电子工业要生产尖端武器中的电子产品；冶金、化工、建材部门要生产尖端的材料等等。总之，民用要为尖端服务，而尖端也要为民用工业服务，并带动民用工业的发展。

此外，钱学森对与“两弹一星”关系密切的航空和空军武器技术，舰船和海军武器技术，无线电、雷达技术，电子技术，激光和光电技术，光学和光学技术，中国科学院的基础研究及应用研究，教育及人才培养等众多领域，都有许多精辟的论述，对推动这些领域的发展曾发挥重要作用。

五

进入 80 年代以后，由于年龄关系，钱学森辞去了国防科研一线领导职务。这时他的科学思想更加活跃，驰骋在整个自然科学领域。同时他对社会科学也产生了极大兴趣，他深入学习和研究了马克思主义哲学，并以马克思主义哲学指导自己的研究工作，在自然科学与社会科学的结合点上，作出了许多开创性贡献。他这一时期的学术贡献包括：系统工程和系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学等。

钱学森的系统工程思想源于航天系统工程。这可以追溯到 20 世纪 40 年代。在 40 年代，喷气推进实验室通过研究火箭助推飞机起飞装置开始，逐步从加州理工学院的一个工程研究小组演化成为航天工程研究组织。钱学森运用并发展了他在喷气推进工作中获得的经验，从 50 年代后期中国航天计划开始实施的时候起，他就和广大干部、科技人员在周恩来和聂荣臻领导下，把当时苏联航空技术发展中的总体设计部和我国行政组织管理的实际结合起来，这也就是今天称为航天系统工程的组织管理。它包括：

1. 由总体设计部对航天工程进行科学的技术管理（又称技术协调）。总体设计部由熟悉大系统各方面专业的技术人员组成，在总设计师的领导



下,根据任务的要求,用系统分析的方法进行大系统指标论证、总体方案(包括技术途径、经济性和可行性)论证、流程设计和系统环境分析,选择总体参数,以确定系统体系结构的组成、功能;从整个大系统的要求出发,提出各组成系统的设计参数和技术要求,将各组成系统结合成一个有机的整体,进行系统试验和系统使用方法的总体设计,提出各种试验和使用设施的技术要求,或对现有试验和使用设施提出采用或改造的建议。

2. 在整个航天系统工程实施过程中,采用建模与仿真技术。包括数字仿真和半实物仿真,以实现系统方案的整体优化、系统功能和结构的协调一致。

3. 计划管理机关用管理信息系统对航天工程实行科学的计划管理。这种有电子计算机的信息系统能够形成一高效的数据库,不断将各项工作的历史情况和最新进度显示出来,对经常变动的计划进展情况进行快速处理,使计划管理人员及时掌握整体计划的全面动态,发现薄弱环节,对拟采取的计划协调措施用网络模型和电子计算机进行模拟,预测措施的效果,为决策提供依据,选择人力、物力和财力的最佳调度方案。航天系统的总体设计机构和计划管理机关,形成航天工程计划领导人的参谋机构的整体,前者是航天工程系统总体概念、总体方案、总体设计技术协调措施科学性的体现者;后者是航天工程系统计划协调措施中科学性和人、财、物调度权力的体现者。

钱学森不仅将我国航天系统工程的实践提炼成航天系统工程理论,并且在 80 年代初期提出国民经济建设总体设计部的概念 ,还坚持致力于将航天系统工程概念推广应用到整个国家和国民经济建设中,并从社会形态和开放复杂巨系统的高度,论述了社会系统。任何一个社会的社会形态都有三个侧面:经济的社会形态、政治的社会形态和意识的社会形态。钱学森从而提出把社会系统划分为社会经济系统、社会政治系统和社会意识系统三个组成部分。相应于三种社会形态应有三种文明建设,即物质文明建设(经济形态)、政治文明建设(政治形态)和精神文明建设(意识形态)。社会主义文明建设应是这三种文明建设的协调发展。从实践角度来看,保证这三种建设协调发展的就是社会系统工程。从改革和开放的现实来看,不仅需要经济系统工程,更需要社会系统工程。

钱学森对系统科学工作的思考和研究可以追溯到1955年。这一年秋天，钱学森和许国志一同把运筹学的"种子"从它的发源地美国带回了祖国。1956年，钱学森创建了我国第一个运筹学研究组，并把这个研究组作为他负责组建的中国科学院力学研究所的组成部分。钱学森和许国志通过这个研究组将运筹学运用在我国国防建设和社会主义经济建设之中。作为一个有远见的科学家，他在当时已预见到运筹学不单要研究现有武器装备的运用，而且更要研究未来武器装备的规划与运用。因此，他在国防部第五研究院创建了我国第一个军事运筹学研究机构——"作战研究处"，开辟了运筹学面向我国武器装备规划、论证的一个发展方面。这可以说是我国国防系统分析研究工作的起源。

从1978年春天开始，钱学森为促进运筹学、系统工程、系统分析在我国的发展，作出了重要的贡献。他先后在北京、成都、昆明、长沙发表了一系列学术讲演。这些讲演的主要见解，后来集中表达在1978年9月27日《文汇报》上公开发表的论文《组织管理的技术——系统工程》中。这篇论文对运筹学、系统工程和系统分析科学活动在中国的繁荣，产生了十分积极的影响。1979年7月24日，钱学森应邀在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上向数千名听众发表了与王寿云、柴本良合写的题为《军事系统工程》的长篇讲演，把计算机作战模拟技术推荐给中国人民解放军。他指出："战术模拟技术，实质上提供了一个'作战实验室'，在这个实验室里，利用模拟的作战环境，可以进行策略和计划的实验，可以检验策略和计划的缺陷，可以预测策略和计划的效果，可以评估武器系统的效能，可以启发新的作战思想"。"在模拟的可控制的作战条件下进行作战实验，能够对有关兵力与武器装备使用之间的复杂关系获得数量上的深刻了解。作战实验，是军事科学研究方法划时代的革新"。钱学森的这篇讲演，对国防系统分析在我国的发展产生了很大的推动作用。

1979年10月，钱学森在北京主持召开了"北京系统工程学术讨论会"。这次会议促成了中国系统工程学会及其所属专门从事国防系统分析研究的群众性学术团体——军事系统工程专业委员会于1980年正式成立。钱学森等著的《论系统工程》在1982年11月出版，增订版在1988年10月出版。

有了系统分析、系统工程、控制论、运筹学和作战模拟，从现代科学技术



体系的认识考虑,系统科学的概念就形成了。

钱学森对系统科学最重要的贡献,是他发展了系统学和开放的复杂巨系统的方法论。钱学森对这一问题的兴趣起源于80年代初对军事对阵模拟的研究。1981年5月25日,他在与方福康的通信中说:"40年前,J.冯·诺伊曼(von Neumann)同O·莫根施特恩(Morgenstern)建立了博弈论,后来因为计算理论太繁,实际应用时,往往用Monte-Carlo数值法上电子计算机,求得结果。近来,在计算机下棋和简单的军事战斗集体(如排对排)的行动已经实现了。但如何把理论用于结构复杂、成员众多的对阵集团,问题太复杂,就连电子计算机也不行了。这是军事系统工程中的一个大问题,也是微观经济过渡到宏观经济的根本问题。能不能把博弈论和系统学结合起来,以解决此难题?"

从1981年夏天到1982年10月,在为指导王寿云编著《现代作战模拟》一书而进行的几次讨论中,钱学森从F·W·兰彻斯特(Lanchester)的工作提炼出半经验半理论的处理复杂对阵问题的方法论。在后来的研究工作中,钱学森赋予这一方法论更广泛的含义:处理复杂行为系统的定量方法学,是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学,是半经验半理论的。提出经验性假设(猜想和判断),是建立复杂行为系统数学模型的出发点。这些经验性假设(猜想或判断)不能用严谨的科学方式证明,但需用经验性数据对其确实性进行检测。从经验性假设(猜想或判断)出发,通过定量方法途径获得的结论,仍然具有半经验、半理论的属性。当人们寻求用定量方法学处理复杂行为系统时,容易注重于数学模型的逻辑处理,而忽视数学模型微妙的经验含义或解释。要知道,这样的数学模型看来"理论性"很强,其实不免牵强附会,从而脱离真实。与其如此,反不如从建模一开始就老老实实承认理论的不足,而求援于经验判断,让定性的方法与定量的方法结合起来,最后定量。这样的系统建模方法是建模者判断力的增强与扩充,是很重要的。

钱学森并没有把研究工作停止在这一水平上,他同于景元、戴汝为合作,深入到一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论。开放的复杂巨系统目标还没有形成从微观到宏观的理论,没有从子系统相互作用出发,构筑出来的统计力学理论。那么有没有研究方法呢?有些人想得比较

简单,硬要把处理简单系统或简单巨系统的方法用来处理开放的复杂巨系统。他们没有看到这些理论方法的局限性和应用范围,生搬硬套,结果适得其反。例如,运筹学中的对策论,就其理论框架而言,是研究社会系统的很好工具,但对策论今天所达到的水平和取得的成就,远不能处理社会系统的复杂问题,原因在于对策论中已把人的社会性、复杂性、人的心理和行为的不确定性过于简化了,以至于把复杂巨系统问题变成了简单巨系统或简单系统的问题了。同样,把系统动力学、自组织理论用到开放的复杂巨系统研究之中,之所以不能成功,其原因也在于此。系统动力学创始人J.福雷斯特(Forrester)就提出,对他的方法要慎重,要研究模型的可信度。钱学森在1989年指出,实践已经证明,现在能用的、惟一能有效处理开放的复杂巨系统(包括社会系统)的方法,就是从定性到定量的综合集成方法,这个方法是在复杂巨系统研究实践的基础上,提炼、概括和抽象出来的。除去复杂军事对阵系统外,各类复杂巨系统的研究实践还包括:

1. 在社会系统中,由几百个或上千个变量所描述的定性定量相结合的系统工程技术对社会经济系统的研究和应用。

2. 在人体系统中,把生理学、心理学、西医学、传统医学以及气功、人体特异功能等综合起来的研究。

3 在地理系统中,用生态系统和环境保护以及区域规划等进行综合探讨的地理科学。

在这些研究和应用中,通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合,提出经验性假设(判断或猜想);而这些经验性假设不能用严谨的科学方式加以证明,往往是定性的认识,但可用经验性数据和资料,以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测;而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上,经过定量计算,通过反复对比,最后形成结论;这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论,是从定性上升到定量的认识。从定性到定量的综合集成法,就其实质而言,是将专家群体(包括各种有关专家)、数据和各种信息与计算机技术有机地结合起来,把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来。这个方法应用的成功,就在于发挥了这个系统的整体优势和综合优势。近几年,国外有人提出综合分析方法(meta-analysis),对不同领域的信息进行跨域分析综合,但还不成



熟,方法也太简单。而从定性到定量的综合集成法却是真正的综合分析方法。

钱学森在1992年进而提出了从定性到定量的综合集成法的应用形式,即用计算机信息系统构成的综合集成研讨厅。他还将这种综合集成工程提炼成大成智慧工程,并进而上升到大成智慧学。

*　　　　*　　　　*　　　　*

80年代,人工智能已成为国际上的一大热门,但学术思想却处于混乱状态。在这样的背景下,钱学森站在科技发展的前沿,提出创建思维科学(noetic science)这一科学技术部门,比较突出的贡献为:

1. 钱学森在80年代初提出创建思维科学技术部门,认为思维科学是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的科学,是现代科学技术的一个大部门。推动思维科学研究的是计算机技术革命的需要。钱学森把思维科学划分为思维科学的基础科学、思维科学的技术科学及思维科学的工程技术三个层次。思维科学的基础科学是研究人有意识的思维规律的学问,称为思维学。思维学又可细分为四个部分:

(1) 抽象(逻辑)思维学、抽象思维是可以用计算机来代替人脑工作的那部分思维。

(2) 形象(直感)思维学,形象思维建立在经验或直感的基础上,主要研究人类根据经验或直感产生智能的行为,以及如何用计算机实现这一过程,并使之上升为理论。

(3) 灵感(顿悟)思维学,灵感思维是形象思维的扩展,由直感的显意识扩展到灵感的潜意识。

(4) 社会思维学,研究人作为一个集体的思维,以及如何利用人类过去积累的知识。思维活动,实际上具有集体性质。人类认识客观世界不但靠实践,而且要利用过去人类创造出来的精神财富。另外信息对认识过程有非常重要的意义,研究信息和信息过程的信息学,也是思维科学的基础科学之一。在技术科学这一层次,包括结构语言学和数理语言学、模式识别、情报学和科学方法论等。科学技术工作决不能局限于抽象思维的归纳推理,即所谓的科学方法,而必须兼用形象或直感思维,甚至要得助于灵感或顿悟思维,所以他后来又把形象思维和灵感思维提炼为创造性思维,属宏观思

维,而逻辑思维则属微观思维。思维科学中直接改造客观世界的学问属于工程技术层次,如人工智能、计算机软件工程、密码技术、情报资料库技术、文字学和计算机模拟技术以及其他。钱学森提出,认知心理学就是上升到精神(mentalics),也还是人体科学基础学科层次,属人体科学大部门,而思维学属思维科学大部门。研究意识,研究人的思维,一条路是研究脑,走脑科学的道路。这条路非常长,短时间内不会有结果。另一条是走思维科学的道路,依靠思维科学内部的一些方法来研究。

2. 钱学森主张发展思维科学要同人工智能、智能计算机的工作结合起来。他以自己亲身参与应用力学发展的深刻体会,指明研究人工智能、智能计算机应以应用力学为借鉴,走理论联系实际,实际要理论指导的道路。人工智能的理论基础就是思维科学中的基础科学思维学。研究思维学的途径是从哲学的成果中去寻找,思维学实际上是从哲学中演化出来的。他还认为形象思维学的建立是当前思维科学研究的突破口,也是人工智能、智能计算机的核心问题。

3. 钱学森把系统科学方法应用到思维科学的研究中,提出思维的系统观,即首先以逻辑单元思维过程为微观基础,逐步构筑单一思维类型的一阶思维系统,也就是构筑抽象思维、形象(直感)思维、社会思维以及特异思维(灵感思维)等;其次是解决二阶思维开放大系统的课题;最后是决策咨询高阶思维开放巨系统。

*　　*　　*　　*

钱学森是中国人体科学的倡导者。20 世纪 70 年代末,当人体特异功能是真是假,科学工作者及社会各阶层还众说纷纭的时候,钱学森支持一些热心的科学工作者,对捕捉到的现象进行科学的核实和实验,严谨地进行科学检验。在取得大量和可靠的科学实验数据资料之后,他认为:人类对自身的认识远没有完成,人体可能存在着特殊的功能、潜力,尽管这些现象用现代科学知识还不能解释清楚,但必须进行科学研究。1980 年,他提出人体科学的概念:人体科学的研究范围是研究人体的功能,如何保护人体的功能,并进一步发展人体潜在的功能,发挥人的潜力的科学。人体科学的基础科学,除包括人体生理、解剖、心理等基础科学外,还包括对祖国医学理论特别是对气功的科学研究;人体科学的技术科学包括:人-机工程和体育科学



技术，如武术、杂技等；人体科学的应用技术，包括医学临床各科，如内、外科学，五官科学和职业病学等。人天观是人体科学通往马克思主义哲学的桥梁，也对进一步发展人体科学起到指导作用，而人体科学的进一步发展又会更加充实和深化人天观，更加充实和深化马克思主义哲学。

钱学森提出用“人体功能态”理论来描述人体这一开放的复杂巨系统，研究系统的结构、功能和行为。他认为气功、特异功能是一种功能态，这样就把气功、特异功能、中医系统理论的研究置于先进的科学框架之内，对气功、特异功能的研究起了重大作用。在钱学森指导下，北京航天医学工程研究所的研究人员于 1984 年开始对人体功能态进行研究，他们利用多维数据分析的方法，把对人体所测得的多项生理指标变量，综合成可以代表人体整个系统的变化点，以及它在各变量组成的多维相空间中的位置，运动到相对稳定，即目标点、目标环的位置。他们发现了人体的醒觉、睡眠、警觉和气功等功能态的各自的目标点和目标环。这样，就把系统科学的理论在人体系统上体现出来了，开始使人体科学研究有了客观指标和科学理论。

*　　　　*　　　　*　　　　*

钱学森认为，马克思主义哲学是人类对客观世界认识的最高概括，也是现代科学技术（包括科学的社会科学）的最高概括，它的核心是辩证唯物主义；而历史唯物主义、自然辩证法、认识论与辩证唯物主义不在同一个层次上，前三者与后者不是并列关系。具体地说：辩证唯物主义的崇高地位及其概括性是由于它反映了自然界、人类社会和思维发展的普遍规律，也就是反映了所有科学的普遍而共同的规律。因此，全部科学、理论都应坚持以马克思主义哲学为指导，不能违背马克思主义哲学的基本原理，这就是马克思主义哲学应具备的高度概括性。同时，又不能把马克思主义哲学作为万古不变的教条，要不断以各门具体科学的成果来丰富、完善、发展马克思主义哲学，甚至凡是人类通过实践不断积累起来的一切知识性，经验性，还不系统、不成其为科学或称“前科学”的大量零金碎玉，以及现代科学技术体系以外的所有知识，都要随时注意与之交流，予以整理、鉴别、提炼、吸收进来，充实马克思主义哲学体系。这就是马克思主义哲学应具备的不断生长的开放性。钱学森关于马克思主义哲学更具概括性与开放性的观点，扩展与深化了马克思主义哲学的基本特征，使之更具有无限生命力。

基于对马克思主义哲学基本特征的如此理解，以及对于世界科学技术发展现状的研究，钱学森自 1978 年以来，运用系统科学的观点与方法，逐步形成了一个现代科学技术体系与马克思主义哲学的整体构想；他将整个体系从纵向分为三个层次，最高层次是马克思主义哲学，也就是辩证唯物主义，最下面的层次是现代科学技术十一大部门，其间通过十一架"桥梁"把马克思主义哲学与十一大科学技术部门联在一起。从横向来看，十一大科学技术部门是：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、文艺理论、军事科学、行为科学、地理科学、建筑科学等。其中每一个科学技术部门又按照是直接改造客观世界，还是比较间接地联系改造世界的原则，划分为基础科学、技术科学和工程技术三个层次（文艺理论目前看来只有一个基础理论层次）。与十一大科学技术部门相对应，过渡到马克思主义哲学的"桥梁"是：自然辩证法、历史唯物主义、数学哲学、系统论、认识论、人天观、美学、军事哲学、社会论、地理哲学等；这十一架"桥梁"分别概括了十一大科学技术部门中带有普遍性、原则性、规律性的东西，即各门科学技术的哲学；因此，也可以把它们共同作为马克思主义哲学的内容和基石。

按照钱学森的观点，在现代科学技术十一大部门之外，尚有未形成科学体系的实践经验的知识库，以及广泛的、大量成文或不成文的实际感受，如局部的经验、专家的判断、行家的手艺、文艺人的艺术、中医医药学等等，也都是人类对世界认识的珍宝，它与科学技术体系和马克思主义哲学密切相关，不可忽视，亦应逐步纳人体系。

钱学森将当代科学技术发展状况，归纳为十一个紧密相连的科学技术部门。这十一大科学技术部门的划分方法，正是钱学森运用马克思主义哲学，特别是系统论对科学分类方法的又一创新。他提出，这十一大科学技术部门的划分不在于各学科研究对象之不同，而在于它研究问题或看问题的角度不同；它们的研究对象都是统一的，即整个客观世界（包括自然的和人造的），人也是客观世界的一部分。自然科学是从物质在时空中的运动、物质运动的不同层次、不同层次的相互关系这个角度研究整个客观世界。社会科学是从人类社会的发展运动，即从人类社会内部的运动以及客观世界对人类社会发展运动的影响这个角度研究整个客观世界。数学科学是从质和量的对立统一、质和量互变的角度去研究整个客观世界。其他如文艺理

论是文学艺术的理论，而文学艺术也是面对整个客观世界的。军事科学的研究已不限于战争，而是从矛盾斗争的角度去研究整个客观世界，包括“科技战”、“智力战”、“商战”等。行为科学是从个人与社会的相互作用这个角度去研究整个客观世界的，现在人的活动不但要考虑整个地球，而且已经深入到地下，上升到天上以至太阳系……所以人类社会也涉及整个客观世界。地理科学是研究人类社会赖以生存的环境，它是从地球与人类社会、与宇宙天体的相互联系、相互作用中研究整个客观世界的。

* * * *

钱学森从1986～1991年曾担任中国科协第三届主席。他对中国科协的工作也曾作出重要贡献。首先在1979年，他主动找周培源谈话，提出“文化大革命”已经结束，党中央正在致力于恢复和发展社会主义建设的各项事业，中国科协的活动也应尽快恢复。他说，现在社会主义建设的各个部门都是纵向的垂直领导关系，这有利于加强党对各项事业的领导。但也有一个缺点，即缺乏横向的、各部门、各领域之间的交流。这种横向的交流对科学事业的发展尤为重要。中国科协正好可以发挥这种横向的各学科之间的联系和交流作用。

在他的积极建议和推动下，一批著名的老科学家向中央提出建议：恢复中国科协的活动，并得到批准。经过一年多的筹备，中国科协的各个学会都恢复了活动，并选出代表，在1980年召开了中国科学技术协会第二届全国代表大会，选举产生了全国委员会，周培源当选为第二届中国科协主席，钱学森是副主席之一。

1986年中国科协换届，钱学森被选为第三届主席。他在担任科协主席期间，配合国家社会主义改革的进程，大抓了中国科协的改革问题，如各学会实行会员制等，并在1990年给中央写信，恢复了中国科协在全国政协团体会员的资格。1991年中国科协换届，钱学森被授予中国科协名誉主席称号。

钱学森在1986～1998年担任第六、七、八届全国政协副主席，他在政协负责科学技术委员会的工作，在团结广大科技工作者进行政治协商、民主监督和参政议政方面发挥了重要作用。

由于钱学森对我国“两弹一星”事业和整个科学技术事业所作出的重大

贡献,1986 年获国家科技进步奖特等奖;1991 年被国务院、中央军委授予“国家杰出贡献科学家”荣誉称号和一级英模奖章;1995 年获“何梁何利基金优秀奖”(奖金 100 万港元,他随即将这笔奖金捐赠给促进沙产业发展基金);1999 年被中共中央、国务院、中央军委授予“两弹一星功勋奖章”;2001 年获霍英东奖金委员会颁发的“霍英东杰出奖”(奖金 100 万港元,他又将这笔奖金捐给了促进沙产业基金和钱学森草产业奖励基金)。1989 年国际技术与技术交流大会授予钱学森“小罗克韦尔奖章”和“世界级科学与工程名人”、“国际理工研究所名誉成员”的称号;2001 年国际小行星中心和国际小行星命名委员会将中国紫金山天文台发现的 3763 号小行星命名为“钱学森星”。

人们一般喜欢称他为中国的“导弹之父”或“航天之父”,但是钱学森本人不同意这样的称呼。他说,导弹航天是一项大规模的科学技术事业,一两个人是无法搞成功的,其成就首先要归功于党,归功于集体。而他只是恰逢其时,做了他该做的事情。如果不是组织上规定的任务,在一般情况下,他也不同意为他写传。说他自己没有功夫回忆过去,以往的事,过去就算了。历史自有公论,任凭后人评说。他只考虑未来,关心祖国未来科技事业的发展。

鉴于钱学森对我国科学技术事业的巨大贡献,他的爱国主义情操,他对党的事业的忠诚,对祖国、对人民的无私奉献,2001 年 10 月,江泽民总书记在一个重要批示中提出:“我们应该向人民科学家钱学森同志学习”。纵观钱老走过的路,他获此殊荣是当之无愧的。



钱学森同志简介

钱学森，著名科学家。1911 年 12 月 11 日生于上海。祖籍浙江杭州。1959 年加入中国共产党。1934 年交通大学机械工程系毕业。1935 年留学美国，入麻省理工学院航空系学习，翌年获航空工程硕士学位。后转入加州理工学院航空系学习，1939 年获航空、数学博士学位。曾任加州理工学院副教授，麻省理工学院教授，加州理工学院喷气推进中心主任、教授。1955 年返回祖国。历任中国科学院力学研究所所长、研究员；国防部第五研究院院长、副院长，并兼任该院一分院（即今天的中国运载火箭技术研究院）院长；中国科学技术大学近代力学系主任。1965 年任第七机械工业部副部长，1968 年兼任国防科学技术委员会第五研究院（即今天的中国空间技术研究院）院长。1970 年任国防科学技术委员会副主任。1982 年任国防科学技术工业委员会科学技术委员会副主任。1987 年被聘为国防科学技术工业委员会科学技术委员会高级顾问。1998 年被聘为解放军总装备部科学技术委员会高级顾问。是第二届全国政协委员；第二至第五届全国人大代表；中国共产党第九至第十五次全国代表大会代表、第十六次全国代表大会特邀代表；第九至第十二届中央候补委员；第六、第七、第八届全国政协副主席、并兼任第七届全国政协科学技术委员会主任。是中国力学学会、中国自动化学会第一届理事会理事长；国际自动控制联合会第一届理事会常务理事；中国宇航学会、中国空气动力学会、中国系统工程学会、中国力学学会名誉理事长；中国科学技术协会第二届全国委员会副主席、第三届全国委员会主席。1991 年被授予中国科学技术协会名誉主席称号。1984 年被增选为中国科学院主席团执行主席，1992 年被聘请为中国科学院学部主席团名誉主席。1957 年增聘为中国科学院学部委员（院士），1994 年选聘为中国工程院院士，1998 年被授予“中国科学院资深院士”、“中国工程院资深院士”称号。

由于在应用力学、喷气推进、工程控制论、物理力学等诸多技术科学领

域以及为发展我国航天事业做出的开创性贡献，使他获得了来自国内外的很高荣誉。1957 年获中国科学院自然科学奖（1956 年度）一等奖。1979 年获美国加州理工学院“杰出校友奖”（Distinguished Alumni Award）。1986 年获（1985 年度）国家科技进步奖特等奖。1989 年获国际技术与技术交流大会和国际理工研究所授予的“W. F. 小罗克韦尔奖章”、“世界级科学与工程名人”和“国际理工研究所名誉成员”称号。1991 年获国务院、中央军委授予的“国家杰出贡献科学家”荣誉称号和中央军委授予的一级英雄模范奖章。1995 年，获何梁何利基金颁发的首届（1994 年度）“何梁何利基金优秀奖”（后改称“何梁何利基金科学与技术成就奖”）。1999 年获中共中央、国务院、中央军委颁发的“两弹一星功勋奖章”。2001 年获第二届“霍英东杰出奖”（中国地区）。同年，经国际小行星中心和国际小行星命名委员会审议批准，将中国科学院紫金山天文台发现的国际编号为 3763 号小行星，正式命名为“钱学森星”。

著有《工程控制论》、《物理力学讲义》、《星际航行概论》、《论系统工程》、《关于思维科学》、《论地理科学》、《科学的艺术与艺术的科学》、《人体科学与现代科技发展纵横观》、《论宏观建筑与微观建筑》、《论第六次产业革命通信集》、《创建系统学》等。

从科学与政治结合的高度理解"三个代表"重要思想

——记钱学森学习"三个代表"重要思想

2002 年 2 月，江泽民总书记在广东省考察时提出"三个代表"重要思想。年近九旬的钱学森同志当即意识到这是一个重大的理论观点，他认真学习报纸上的有关报道，还催着要我们给他买有关的参考书。后来，我们为他找来几本有关读物。耄耋之年的钱学森同志便倚靠床头，认真学习和思考，并不时向我们谈他学习的体会。2000 年 12 月 11 日他 89 岁生日这一天，他向我们做了比较集中的一次谈话。

钱老说，今天是我 89 岁生日。我算是高寿了，比我的老师冯·卡门活得还长。这要归因于党和国家对我的关怀和照顾。我在美国是学自然科学工程技术的，一心想用自己学到的科学技术救国，不懂得政治。20 世纪 50 年代初，美国横行麦卡锡主义，整我，才使我切身体会到美国所谓的民主是怎么回事。回到祖国以后，我通过学习才慢慢懂得马克思主义，懂得点政治，感到科学与政治一定要结合。我回国以后所做的工作，可以说都是科学与政治结合的成果。即便是纯技术工作，那也是有明确政治方向的。不然，技术工作就会迷失方向，失去动力。

在当今时代，一个人，特别是领导干部和高级干部，光懂政治不行，一定要懂一些科学，要坚持科学与政治的结合。我们党历来强调，领导干部特别是高级干部，既要有坚定正确的政治方向，掌握高超的政治领导艺术，同时又要掌握现代科学文化知识，提高做好领导工作的知识水平。我们党的三代领导核心，都是既注重政治又注重科学的，能够把科学与政治很好地结合起来，这种结合使得他们应付复杂局面的领导艺术十分高明。

我同党的三代领导核心都有过接触。毛主席领导建立了新中国，这是



一项伟大事业，实现了中国人民近百年来的梦想。当年我在美国听到新中国成立的消息，十分高兴，立即决定回国，参加新中国的建设。但后来遇到曲折，直到 1955 年才得以实现。回国后我同毛主席他老人家有过多次接触，他也问过我一些科学上的问题。他老人家的智慧主要来自马克思主义哲学和历史、文学艺术修养，来自革命战争的锤炼，很了不起。他对科学问题也十分关注，下了很大功夫进行研究。他的理论著作《实践论》和《矛盾论》，可以说是马克思主义哲学的光辉篇章。我回国后曾反复学习，深受教益。我在美国搞的那些应用力学、喷气推进和工程控制论等等，都属技术科学，而技术科学的特点就是理论联系实际。我写的那些论文选题都是从航空工程和火箭技术的实际工作中提炼出来的。而研究出来的理论成果又要与实验数据对照，接受实践的检验。这个过程往往要反复多次，一个课题才能完成，其成果在工程上才能应用。这就是毛主席在《实践论》中讲的道理。

工程上的实际问题总是复杂的、多因素的。我们那时做研究工作，计算手段很有限。遇到这种非线性的复杂问题怎么办？就得设法加以简化。这就要求对问题有深刻理解，才能抓住主要矛盾。只要主要矛盾抓对了，你的简化就是合理的，其结果工程上就能用。这不就是毛主席在《矛盾论》中讲的道理吗？我在美国做了十几年学问，所得到的那点心得体会，原来在毛主席的《实践论》、《矛盾论》中早就讲清楚了。所以我常常说毛主席很伟大。当然，那个时代，科学远不像今天这么发达。

我同邓小平同志也有过接触。我们当年搞"两弹"，邓小平同志是积极支持和鼓励的。

他曾在中央书记处听我们汇报时说："你们放手去干，成功了，功劳是你们的；失败了，责任由书记处承担。"他对知识分子是充分信任、大胆使用的，这对我们是很大的鼓舞。改革开放以后，邓小平同志作为我们党的第二代领导核心，贡献就更大了。他提出的建设有中国特色社会主义理论，突破了前人，是大胆的创新。江总书记在"七一"讲话中说：邓小平理论"是在新的历史条件下对毛泽东思想的最好继承和创造性发展，为我们开创中国社会主义事业的崭新局面作出了重大贡献。"

邓小平同志提出的"知识分子是工人阶级的一部分"、"科学技术是生产力"特别是"科学技术是第一生产力"等重要思想，是对马克思主义关于社会

生产力理论的重大发展，也反映出他对科学技术在现代社会中重要性的深刻认识，是一种与时俱进的观点。他的这些重大理论观点对推动我国现代化建设事业起了很大作用。邓小平同志强调，选接班人不仅要注重政治素质，而且要注意到科学素质。我看邓小平的一大功劳就是选江泽民同志成为我们党的第三代领导核心。

江泽民总书记对马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论既有继承又有发展。这才是真正的马克思主义者，因为马克思主义本来就是不断发展的。不能死抱住过去的教条不放，要根据新的形势、新的实践加以发展。所谓发展，就是创新，也就是要与时俱进 。与时俱进，这个提法好，在以江泽民同志为核心的党的第三代中央领导集体的领导下，中国的改革开放和现代化建设日益前进，不断取得新的成就。看看今天的世界，哪一个国家有中国发展得这么好！

江总书记提出的“三个代表”重要思想，是对马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论的重大发展。这可是件了不起的大事，会影响中国今后长期的发展。我正在认真学习，因为不学习就跟不上时代发展的步伐，做不到与时俱进了。

要全面认识和理解“三个代表”重要思想，我看很重要的一条，就是要坚持做到科学与政治的结合。今天，中国和世界发展这么快，什么信息时代呀！计算机、互联网呀！生物工程呀！基因库呀！经济全球化呀！世贸组织呀！等等，那真是一日千里，不学习怎么能行？怎么能做到与时俱进？世界在快速前进，不学习，就会在不知不觉的情况下落伍。一个人掉队还关系不大，一个国家要落后了，那就意味着要被动挨打，受人欺辱，在世界上就没有立足之地了。中国近代史上这种教训还不深刻吗？过去我讲过美国福特汽车公司的故事。老亨利·福特原来只是个心灵手巧的工匠，他创建了福特汽车公司。由于他有眼光，一方面采用当时先进的流水线作业，另一方面又请了一位懂管理的专家来当经理，搞市场预测和建立销售网，结果使福特汽车公司发展成一个“汽车王国”。但到了晚年，由于老福特不学习先进的科学技术和管理知识，思想僵化保守了，结果福特汽车公司几乎被别人挤垮。后来他孙子小福特接班，他有管理知识，懂科学技术，又了解当时世界汽车工业的发展趋势，一上来就大刀阔斧地进行改革，这才把福特汽车公司

又振兴起来。一个企业尚且如此，一个国家、一个民族和一个政党就更不用说了，道理是一样的。

我说的科学与政治结合，是一个很大的概念。“政治”当然是指马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论，指我们治党治国必须坚持的基本路线和重大方针政策。“科学”也不光指自然科学工程技术，包括自然科学、社会科学、数学科学和系统科学等等。过去我提出过一个现代科学技术体系，它包括十一个大部门。每一个部门又分三个层次，即基础科学层次、技术科学层次和工程技术层次。所有这些科学技术的最高理论概括是马克思主义哲学。现代科学可不仅仅是自然科学，而是十一个大部门、三个层次的体系。每个部门的知识最好都要知道一点，还要懂得辩证法，这样视野才能开阔，看问题才不至于片面、近视。这也是马克思主义的科学观所要求的。

我在同江总书记的接触中感到，他科学技术基础好，又兴趣广泛，爱学习，我们每次见面，总少不了讨论科学技术问题。记得 1989 年他刚到中央工作不久，为“小罗克韦尔奖”之事，他和李鹏同志在中南海接见我。会见前，他花很长时间同我讨论系统工程问题，对这门学问表现出极大的兴趣。我当即将《论系统工程》那本书送给他。他以后的多次讲话，把系统工程中的原理运用得很灵活。后来，大约是 1991 年，有一天，我家的电话机突然响了。我拿起电话一听，是江总书记打来的。他说：“学森同志，我要向你请教一个问题，现在物理学中有超弦理论、混沌现象等，你能讲讲吗？”我说：“我有篇文章，正好涉及这些问题，呈送您作参考。”后来我把那篇题为《基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导》的论文送给他。这些都是当代物理学中很深奥的理论，而且涉及科学哲学问题。江总书记日理万机，还挤时间学习这些最前沿的物理理论。再一次是 1995 年 1 月 11 日，我把我们几个人用一年时间写成的论文《我们应该研究如何迎接 21 世纪》送给江总书记。他看了此文后没过几天，于 1 月 29 日，轻车简从，一个人来到我家，就文章涉及的几个重大问题同我谈了近 3 个小时，反映出他对国家发展的长远问题极为关注。就我所知，江总书记同其他很多科学家也经常讨论科学技术发展的重大问题。他还不时把各方面的专家请进中南海，给中央领导同志讲科技、经济和法律等方面的知识。正是因为江总书记有这么高的科学和政治素养，所以才能将马克思主义基本原理与当代世界和中国的经济、

科技、文化、军事等方面的重大发展变化结合起来,高度精炼地概括出"三个代表"重要思想。代表中国先进生产力的发展要求,代表中国先进文化的前进方向,代表中国最广大人民的根本利益,里面都具有深刻的科学内涵。

学习和研究"三个代表"重要思想,我认为应从科学与政治的结合上来理解其产生的背景及其意义。它既不是单纯的政治,也不是单纯的科学,而是科学与政治的有机结合、升华的产物。当然,要做到科学与政治的结合是不容易的,需要有高度的智慧。面"三个代表"正好反映出这种理论概括的智慧。

江总书记是中央军委主席。他为什么能统帅我们全军?我看也是一个科学与政治结合的问题,或者说是科学、政治和军事结合的问题。"三个代表"重要思想中的"代表中国最广大人民的根本利益",既是我们党的宗旨,也是我们人民军队的宗旨。毛主席基于我军的本质,提出了人民战争的思想,使我军战胜了强大敌人,取得了革命战争的胜利。江总书记在当今形势下进一步发展了人民战争的思想,提出要研究高技术条件下继承和发扬人民战争思想的新战略新战法。他提出的坚持党对军队的绝对领导和加强科技强军和质量建设,就是科学与政治结合在军队建设上的创新和发展。既重视人在战争中的能动作用,又强调现代化武器装备的重要性。面且鉴于人和武器两者之间的辩证关系,他提出了"实现人和武器的最佳结合"的要求。我看到这个提法以后,想了很久,认为这个提法实在好。人和武器的关系应该怎样处理,一直是军事科学研究中的一个重大课题,既不能过分强调人的作用,陷入主观唯心主义,又不能过分强调武器装备的作用,陷人唯武器论。它们之间的关系当然是辩证的,但仅至于此并未解决问题。江总书记提出的实现人和武器的最佳结合这个要求,则点到了问题的要害,既具体指明了两者之间是怎样一种辩证关系,又具有可操作性,对部队的编成训练和装备研制两个方面都提出了明确的指导原则。搞部队编成训练的,要考虑到新型武器装备的特点;而搞武器装备研制的,要着眼于部队操作使用的方便。只有这样才能做到人和武器的最佳结合,才能最大限度地发挥我军的战斗力。在一定时期,我们的装备可能不如别人,但我们是人民军队,可以做到思想政治素质高于敌人。在充分发挥人的能动作用的前提下,只要实现了人和武器的最佳结合,就可以战胜装备优势的敌人。关键就在于,现

有的武器装备和编成训练是否达到了"最佳结合"。

江总书记的这个思想也可以用到军事以外的领域。比如我们今天搞计算机,搞网络化,搞智能化等。无论自动化和智能化程度多高,也不能完全代替人的大脑。所以在计算机智能化问题上,我提出"人机结合"、以人为主的观点。凡计算机能做的事情,就让机器去做,但创造性思维的工作还得靠人。要把人和计算机看成一个系统,实现"人机结合",以人为主,优势互补。外国有些人不懂得这个辩证法,总是强调机器,强调计算机的作用,结果花许多钱搞出来的人工智能,其实比人笨得多,我们不能走他们那个路子。

2002 年 5 月 31 日,江总书记在中央党校发表了重要讲话,提出要高举邓小平理论伟大旗帜,全面贯彻"三个代表"要求,与时俱进,努力开创建设有中国特色社会主义事业新局面。看到报纸的报道,年过九旬的钱学森同志又进行了认真学习。他说,江总书记的讲话,指出进入新世纪,我国进入了全面建设小康社会,加快推进社会主义现代化的新的发展阶段,并重点强调发展要有新思路,改革要有新突破,开放要有新局面。我体会,江总书记强调了一个"新"字。特别是江总书记提出,要发展社会主义民主政治,建设社会主义政治文明。我认为,这是一个重要的理论发展。这样一来,我们国家的社会主义现代化建设,即社会主义物质文明建设、社会主义精神文明建设和社会主义政治文明建设就形成一个完整体系了。

钱学森同志表示,总之,江泽民总书记提出的"三个代表"重要思想内涵十分丰富,我还在继续学习,理论界有许多好文章都值得一读。以上说的这些,仅是我现在的一得之见。

(原载《人民日报》2002 年 6 月 24 日第一版)



向人民科学家钱学森学习

最近江泽民总书记在一篇重要文章上批示："我们应该向人民科学家钱学森同志学习"。

钱老今年90高龄了。由于他人品思想境界高尚，科学技术成就卓著，党和人民曾给予钱学森同志许多崇高荣誉：1957年获中国科学院自然科学一等奖；1985年获全国科技进步特等奖；1991年获国务院、中央军委授予的"国家杰出贡献科学家"荣誉称号和一级英模奖章；1994年获"何梁何利基金优秀奖"；1999年获中共中央、国务院、中央军委授予的"两弹一星功勋奖章"。

今年钱学森同志又获得三项荣誉：我国紫金山天文台发现的、国际编号为3763号小行星，已荣获国际小行星中心和国际小行星命名委员会批准，正式命名为"钱学森星"；钱老在美国工作学习的著名学府，美国加州理工学院授予钱学森"杰出校友奖章"；全国政协副主席、香港著名实业家霍英东先生设立的"霍英东奖金委员会"，经过严格评审，授予钱学森"霍英东杰出奖"。这就充分说明，钱老的确是一位德高望重，深受人们热爱和敬重的人民科学家。江总书记的批示表达了科技界的心声，代表了人民的心愿，我们大家都要向人民科学家钱学森同志学习。

一、学习他热爱祖国，热爱人民的赤诚之心

钱学森同志是我国老一辈科学家的代表，是爱国科学家的杰出典范。1935年，青年时代的钱学森怀着报国之志，出国留学。他带着强烈的民族自尊心和自信心奋发学习，以祖国富强为动力，从事着广泛的科学研究和工程实践。这使他在美国的20年间，积累了博大精深的科学知识和丰富实用的工程经验。在他1955年回国前夕，他的老师、世界著名力学大师冯·卡门对他的评价是："你现在学术上已超过我了"。为此，他激动得彻夜难眠。



因为他出国学习、工作的目的，就是为了把最先进的科学技术学到手，而且立志要赛过所有的外国人，达到科学技术的顶峰。现在他的目的达到了，还居然超过了这位世界大权威，他为自己的祖国争了光，争了气。他的激动之心正是他爱国之情的自然流露。

钱老的爱国主义是强烈的，不屈不挠的。他回国的历程十分曲折，时间长达 5 年之久。美国当局询问他为什么一定要回国时，他的回答是："我是中国人，我热爱自己的祖国和人民"。当问到他忠于什么政府时，他回答说："我忠于全中国人民，所以我忠心于对中国人民有好处的政府，也就敌视对中国人民有害的任何政府"。这位年轻的海外赤子，孤身一人，面对强大的敌对势力，充分表现了中华民族坚贞不屈的民族气节！钱老的爱国义精神是我们中华民族宝贵的精神财富，将永远教育和鼓舞中华儿女，为伟大的民族复兴，为祖国的繁荣昌盛而奋斗不息！

二、学习他献身科学，严谨治学，为祖国国防科技事业无私奉献的精神

钱学森同志一生淡泊金钱、荣誉和地位。他对科学事业的奉献是无私的，对科学高峰的攀登是无畏的，对科学技术的攻关又是扎实严谨的。他一生坚持理论联系实际，所作出的每一项理论成果都要经过实践的严格检验。他认为，在科学的殿堂里，"一方面是精深的理论，一方面是火热的斗争，是冷与热结合，是理论与实践的结合。这里没有胆小鬼的藏身处，也没有自私者的活动地；这里需要的是真才实学和献身精神"。他自己就是这种精神的集中体现。

正是由于这些高贵的品德，使他早年在空气动力学、航空工程、喷气推进和火箭技术、工程控制论和物理力学等技术科学的许多领域，作出了开创性贡献，成为当时世界上有名望的优秀青年科学家。

也正是由于这些高贵品德，使他回国以后，在国家经济、技术和人才都十分困难的条件下，勇敢地承担起创建我国导弹航天事业的重任。在具体工作中，他严格按照周总理提出的"三高"标准，即"高度的政治思想性，高度的科学计划性和高度的组织纪律性"，以及"严肃认真，周到细致，稳妥可靠，



万无一失”的要求，不放过研制、试验中的任何一点差错，严格地把故障消灭在地面。使我国在较短时间内，独立自主，自力更生地成功掌握了导弹仿制和独立研制的各种复杂技术，把导弹送上天，并完成了“两弹”结合飞行爆炸试验，又成功发射了人造地球卫星。这些成就震撼了世界，大长了中国人民的志气，为中华民族跻身世界强国之林作出了重要贡献。钱学森同志作为我国火箭导弹和航天事业的创建者和技术负责人，无论是在规划计划的制订，基本建设的实施，还是在重大技术的攻关，科技人员的培养和科研工作的管理等许多方面，都奉献了他的知识和智慧，作出了不可磨灭的贡献。

正因为如此，邓小平同志说：“大家要记住那个年代，钱学森、李四光、钱三强那一些老科学家，在那么困难的条件下，把两弹一星和好多高科技搞起来”。江泽民总书记多次号召我们：“一定要坚持发扬当年搞两弹一星时的那么一种干劲，那么一种热情，那么一种奋斗精神”。钱学森同志就是这种精神的代表，是我们学习的楷模。

三、学习他忠于党，忠于社会主义事业的崇高思想境界和坚定的马克思主义政治信仰

钱学森同志 1955 年回国，1959 年便加入中国共产党。他为此曾第二次激动得彻底难眠。因为他早在 20 世纪 30 年代就开始接触马克思主义，他在美国 20 年，一直向往社会主义和人类进步事业。但他那时并不是一名共产党员，却受到残酷迫害。是党挽救了他，使他得以回国，投身于社会主义建设事业。他对党的感情是真挚的，发自内心的。为党的事业奋斗终身是他神圣的、不可动摇的坚定信念。几十年来，无论是国家处在顺利发展的时期，还是遭遇到暂时的波折和困难，钱学森同志始终对党的领导高度信赖，对党的事业充满信心，始终维护党的领导，与党中央保持一致。20 世纪 60 年代初，全党和全国人民经历了“三年经济困难”时期。钱学森同志也和全国人民一样，勒紧裤带过日子。但他却毫不犹豫地将 3000 多元的一大笔稿酬，作为党费，转手交给了党小组长。因为他认为，这时党和国家遇到困难，全国人民都生活艰难，他要和党和人民同甘苦，共患难。“文化大革命”的政治动乱中，他在周总理和聂老总的具体领导下，克服重重困难，力排“派

性"干扰,在"两弹"结合飞行爆炸试验和第一颗人造卫星的成功发射中,进行了艰苦卓绝的工作,既扬了国威,又尽力减少了"文化大革命"的破坏和损失,是十分难能可贵的。

正是因为钱学森同志对党和党的事业如此忠贞,所以,他对党的理论基础——马克思列宁主义、毛泽东思想和邓小平理论从来都是坚定不移,坚信不疑的。钱学森同志是一位有高度政治修养的科学家,自觉的马克思主义者。他几十年如一日,刻苦地学习马列主义、毛泽东思想和邓小平理论,学习党的方针政策,即便进人高龄也从不间断。江泽民总书记提出"三个代表"理论,发表"七一"讲话以后,他以极大的热情,倚靠床头,孜孜不倦地学习。并以他敏锐的政治眼光和渊博的学识,深刻领会"三个代表"的科学思想内涵,提出领导干部要做到科学与政治结合的重要观点。他还经常教育身边工作人员,要努力学习科学和政治,学习江总书记的重要讲话,跟上党的理论发展步伐。尤为可贵的是,他善于运用马克思主义哲学,指导自己的科学和理论研究工作,在自然科学和社会科学的结合上,做出了独特的贡献。他晚年致力于创建的系统学,就充满了辩证唯物主义的世界观和方法论。他结合自己的切身体会,常常深有感触地说,马克思主义哲学是智慧的源泉,全部的科学理论都要坚持以马克思主义哲学为指导,而马克思主义哲学的深化和发展,又要吸取所有科学技术的新成果。他认为,自己所取得的科学成就,都是马克思主义哲学指导的结果。

钱学森同志对党和党的事业的忠诚,对马克思主义的坚定信念,充分说明他的政治品质和治学品质同样高尚,不愧是我党的一名优秀共产党员,科技界的一面旗帜。

四、学习他永不停息地攀登科学高峰,与时俱进的创新精神

钱学森同志无论是在科学上,还是在品德和思想境界上,从没有停止过前进的脚步。即使到了 90 高龄,依然做到与时俱进,活到老,学习到老,前进到老。

他早年的一大科学成就是开创了工程控制论。这在当时,已使他成为蜚声海内外的知名科学家,但他并不以此为满足。回国以后,他在组织领导



我国导弹航天事业中，将工程控制论的原理进一步发展，结合导弹航天事业的管理经验，提炼出系统工程理论。他在20世纪80年代又将系统工程的原理从航天系统工程推广应用到军事运筹、工业、农业，乃至整个社会经济各个领域，提出了军事系统工程、社会系统工程和农业系统工程等，并在这些领域取得显著成效。到80年代末和90年代初，他又基于运用系统工程方法解决国民经济中一些复杂问题的成功案例，提炼出开放的复杂巨系统及其方法论，从而创建了系统学这门新的学科。

在政治理论上，他从青年时代阅读恩格斯的《自然辩证法》，到回国后学习毛主席的《实践论》和《矛盾论》；从研究邓小平的"科学技术是第一生产力"的著名论断，到深入学习江总书记的"三个代表"理论。每一个阶段他都有自己切身的体会，也提出过一些独到的见解，真正做到了与时俱进。

在思想和品德上，他从一名爱国者，成长为一名共产党员。在革命和建设的洗礼中，他不断净化自己的思想，不断提高和升华自己的人生观和世界观。甚至到达耄耋之年，也从未停止过前进的步伐，使他真正成为一名成就卓著、人品高尚，思想已达到很高境界的人民科学家。现在可以说，钱学森是中国人的骄傲，他的名字已属于全中国人民，属于中华民族。

科学是人类社会中的一项崇高事业。崇高的事业需要有崇高的思想和崇高的人品。我们要从这个意义上，深刻领会江总书记提出的"我们应该向人民科学家钱学森同志学习"的重大意义和深远影响。在全社会形成崇尚科学，尊重科学家的良好风气。向钱学森同志和以钱学森为代表的老一辈科学家学习，继承和发扬老一辈科学家的优秀品德，让这种科学精神世代相传，永放光芒。

（原载《大众科技报》2001年12月25日第一版）



高山仰止,师无止境

——我做钱学森秘书的体会和感受

我从 1983 年起做钱学森同志的秘书,至今已有 14 个年头了。十几年来在钱老身边,耳濡目染,深受教益。钱老常常鼓励我总结一下自己的工作,说通过总结可以得到一些提高。这篇文章,是讲我做科学家秘书的体会和感受,其中也记述了一些钱老的感人事迹以及对我的教诲和影响。因此我以十分崇敬的心情,将此文献给钱学森同志。

一、做科学家的秘书,也要注重学习马列主义、毛泽东思想和邓小平理论,学习党的方针政策,学习辩证唯物主义和历史唯物主义,学好马克思主义哲学。这话说来可能是“老生常谈”,也许有人认为是“穿靴戴帽”,但在钱学森同志这里却是实实在在的要求。钱老身为科学家,但他特别注意政治学习,往往从中悟出辩证唯物主义的道理,并上升到“政治学”的理论高度来认识。他不仅对党的重要文件、理论著作、中央领导同志的重要讲话等认真阅读,就连党中央的一句口号,领导同志的一个题词,钱老看了都要反复揣摩其意义。江泽民主席 1997 年 6 月 8 日为新时期军队建设成就展的题词:“加强军队的革命化现代化正规化建设走有中国特色的精兵之路”发表以后,我们都看了,但并未仔细思考,钱学森同志却及时地向我们指出,这是新时期军队建设的方针,要很好地学习和理解。他说:“江主席的题词非常正确,对部队的要求第一是革命化,第二是现代化,第三是正规化。这就把正规化的性质规定为革命化、现代化下的正规化。为什么要把革命化摆在第一位?我理解它是我国人民军队的本质所在。有了革命化,现代化和正规化就不会迷失方向,所以第一位是革命化。今天我们还必须讲现代化,要不然就无法面对今后的战争,这也是我们的立国之本。在这两个前提下的正规化就是组织严密、纪律严明等等,这些都要规范化、法制化。”钱老说:“学习江主席的题词,要领会其中的辩证唯物主义思维,只有这样才能理解其精



神实质，正确地贯彻执行。”

钱学森同志买书之多，看书之广和博，领悟之精和深是出了名的。他不仅阅读各种现代科学技术前沿的深奥理论书籍，也看许多哲学、政治学、经济学和文学艺术理论等著作。他甚至购买《像雷锋那样做人》、《雷锋辞典》等书籍，并认真阅读和思考，不仅从中学习雷锋的思想和品德，而且把雷锋的思想和行为提高到行为科学的高度加以概括和总结，提炼出带有规律性的一般原则。钱老认为，这也是社会主义精神文明建设的大事。

作为钱学森的秘书，这些年来我一直努力学习、追赶他的科学思想和理论观点，因而加强政治学习也就成为工作的必需。按照钱老的要求，对许多问题的学习，都不能停留在一般的水平上。比如学习邓小平同志关于科学技术是第一生产力的论述，钱老则要求我们从马克思、恩格斯关于生产力的基本要素学习开始，理解小平同志的论述是马克思主义的基本论点；同时又要联系到现代产业革命对社会生产力发展所起的推动作用，认识到邓小平同志是在当今条件下，又发展了马克思主义。当我们的学习告一段落时，钱老归结说，他把这叫做“离经不叛道”，即对马克思主义的基本原理要坚持，但又不能死守住教条；而要根据新的形势加以发展。他最后说：“按照历史唯物主义的观点，从近代开始，是科学技术决定生产力及生产力的组织，而生产力和组织管理又决定经济，经济基础决定上层建筑，我们要从这个高度来认识邓小平同志提出的科学技术是第一生产力的重要意义。”

钱老也常常把一些好的书籍和报刊杂志上的好文章剪下来，认认真真地粘贴整齐，推荐给我们学习，使我们受益匪浅。一旦我们对某个问题的学习有所体会，并和他开展讨论时，他会立即给予肯定和鼓励。有时我们代他答复问题，将草稿呈他阅示，若有不足，他会仔细地加以修改或补充；他的补充意见往往一语道破事物的本质，表现出他在现代科学技术和马克思主义哲学的结合上的深厚功力，常使我们自感相差甚远。我深深体会到，学习马克思主义哲学和政治理论，是我们做好工作的永远的动力。

二、做科学家的秘书要耐得住平静的生活，不为金钱和地位所动。像钱学森这样的科学家，其名气算是够大的，但科学家一般都没有什么“权”（有的科学家担任某个领导职务，自然也有一定权力，那另当别论），个人更没有多少钱。所以科学家的秘书之位往往是个“冷板凳”。平时，就算有人

找上门来，也都是真正做学问的“儒生”，下海经商的“大款”是无求于钱学森这样的科学家的。当然，也有为数不多的海内外商贾慕名而来，想见钱学森一面，均被他婉言谢绝了。钱老说：“我是一名科技人员，不是什么‘大官’，又不懂经商之道，对他们不会有什么帮助，还是不见为好。”所以，作为钱学森的秘书，多年来我所结识的，也都是一些经济上并不宽裕的科技人员，除了向他们提供服务之外，是没有什么“油水”可捞的。

钱学森的为人处事，有他自己的原则，第一他不题词；第二他不为人写序；第三他不参加任何鉴定会；第四他不出席任何“应景”的活动，如一些开幕庆典，剪彩仪式等；第五他不兼任任何顾问、名誉顾问之类的荣誉性职务；第六他上年纪以后不到外地去开会或作学术报告，只在北京活动，连天津也不去；第七他不出国，特别是不去美国。他曾表示，如果美国政府不以适当的方式对 50 年代麦卡锡主义横行时期的所谓“钱学森事件”认错，他“今生今世绝不踏上美国国土”。他坚持这些原则，从不开先例，对谁也不例外。所以我的责任就是按照钱老确定的原则，对来自任何方面的请求或邀请婉言加以谢绝。曾有势利者向我暗示：某件事办成了“是不会忘记你的”，但我知道，钱学森的铁面无私就算你用“糖衣原子弹”也攻不破。一些人在电话中纠缠不休，以为多罗列出几条“特殊”情况钱老就会答应，其实这是毫无用处的。即便你那里有千条理由，钱学森这里有他的一定之规。简而言之，我的答复不管如何表达，其核心意思就是一个“不”字。有人埋怨“涂秘书门把得太严”，孰不知我是完全按照钱老规定的原则办事。工作中诸如此类的误解司空见惯，也无必要一一解释。当然，也许是近朱者赤之故，这么多年来在钱老身边，受其言传身教，有时也变得似乎“不近人情”，“不给面子”，成天坐着“冷板凳”，很少应邀外出活动，偶尔有人约请，也懒得动弹。墨守着平静的生活，或协助钱老做点学问，或就某些一得之见写点文章，我感到这样的生活也逸然充实。钱老常引用一句古话说：“事理看破胆气壮，文章得意心花开。”我离他的思想境界虽差之十万八千里，倒也对自己的这种“处境”感觉良好。当然，我做科学家的秘书，虽至今仍是“一介书生”，但也有一点使我感到“心里平衡”，那就是我相信科学的真理是永恒的，是永远也“打不倒”的。所以我为自己能协助钱学森做点科学上的事，甚感欣慰和荣幸，实在别无他求。我非常珍视这一生能够走到钱老身边这一难得的机遇。



三、既要摸透首长的脾气，按首长意图办事，又要实事求是，敢于向首长反映真实情况，敢于说出自己的不同意见。这恐怕是秘书工作的一般性要求，做科学家的秘书也不例外。问题是要做到这一点比较难，特别是要反映真实情况，说出自己的不同意见就更难。当然要摸透首长的脾气，处处按领导意图办事也非一日之功，没有一定时间的“磨合”过程，也很难令首长满意。我刚到钱学森手下工作，就有好心者警告我说：“钱学森要求严，他的秘书不好当，你可得小心。”当然，每个人都有他自己的特点，科学家也有自己为人处事的独特方式，只要你是个有心人，就能逐步适应他的要求。

做秘书工作一般都要求细心，“马大哈”是做不了秘书的。但凡科学家，或者说有成就的科学家，在工作上一辈子都养成一种严谨细致、一丝不苟的作风，所以给科学家当秘书，在这一点上无疑有更高的要求。作为一名科学家，钱学森对大事小事都是那么认真，不放过任何一个细枝末节，你若一不留神，就会有差错被他查出。他写好论文，交我打印校对，然后装订成册呈送给他。我在校对时自然反反复复，生怕出错。装订好送他之前，页码也要再清理一遍。当他看到干净整洁，一字不差的文稿时，会露出满意的笑容。偏偏有那么一两次，我因太忙、办公桌上的电话响个不停，成册的文稿来不及核对页码就匆匆拿给他，自己心想前几次装订都没有问题，这次大概也不会有错。可是不多一会儿，我就被叫到他的办公室，说这一本有缺页，或那一本有重页。这个时候，就是钱老不说什么，我也感到无地自容。从此再不敢忽略任何一个程序，就算工作再忙，头绪再杂，每一件事都要一步一步做到位，不能有丝毫的马虎。当然，话又说回来，根据我的亲身感受，钱学森的严格要求也不是到了不近情理的地步。比方说，校对时遗漏个别错字或标点符号，他会默默改正，并说：“这么长的文字，这种小错总是难免，改过来就行了。”

科学家办事，始终是有条不紊的。于是我也注意有计划地为他安排活动，不打乱仗。一旦定下计划，不轻易改动。这就要求在安排时间表时，尽力把各方面的情况搞清楚，并给有关方面打招呼，使计划得以落实。他顶不喜欢那种“计划赶不上变化，变化赶不上电话，电话赶不上首长一句话”的混乱状况。

钱老本人善于言辞表达，一个深奥的科学问题，他总能用通俗的语言讲



得一清二楚。他和人谈话、作报告，条理清晰，用词准确，讲究逻辑。他又是一位系统科学家，善于从大处着眼看问题，常常强调要从总体上解决问题。所以我在向他汇报情况、反映问题时，也得注意自己的表达能力，力求语言简洁明了，条理分明，观点明确，又不罗列细枝末节。为了做到这一点，十几年来我一直坚持在汇报前写好提纲，做充分准备。

必须指出，所谓“摸透首长的脾气，按首长的意图办事”绝不意味着一切跟着指挥棒转，顺着首长的意思随声附和，在明明发现有错时，也不敢说半个不字，甚至把错的说成对的，讨得领导的欢心。我做钱学森的秘书，上岗不久，也有人对我说：“钱老是大科学家，他的文章你一个字也不能动。”但我后来发现，情况并非如此。钱老欢迎别人发表不同意见，乐意和你展开讨论。对于我在文字上的修改，观点和提法上的斟酌，他无任何不悦的表示，有时还夸一句：“改得好。”时间长了，他往往在论文成稿后送给我，并批示：“涂元季同志：打印前请您从文字上再作修饰，谢谢。”到这个时候，我自然就“大胆工作”了。

接触久了，我发现科学家都老老实实，从不吹嘘自己，也不喜欢别人对他搞这一套。钱老偶尔向我们谈起往事，也很实在。比如他说自己在师大附中读书时算是好学生，但每次考试也就 80 多分；他考取上海交大，并不是第一名，而是第三名；他在美国加州理工学院的博士口试成绩也不是第一等，而是第二等。为此，他的老师冯·卡门还安慰他说：“钱，这无关紧要，博士口试得了个最好，将来在科学上也不一定能作出最大的成就。”我相信，任何人在听到钱老说到他这些往事时，绝不会对他后来在科学上取得的重大成就产生任何怀疑，相反，只会由于这位科学家的诚实态度而对他更加崇敬。所以我作钱老的秘书也一贯本着老实态度，一是一，二是二。如果我工作上有所纰漏，绝不强调客观，加以解释，推卸责任，有错马上承认。而钱老一见你认错，他就不再说什么了，有时还安慰一句“难免”。你若死爱面子不认错，他会轻轻敲你一句：“怎么现在让人承认点错误这么难哪！”这话你自己去掂量吧！

1991 年，国务院、中央军委授予钱学森同志“国家杰出贡献科学家”荣誉称号。报纸上发表了许多赞颂钱老人品和科学成就的文章，在一片颂扬声中，钱学森保持了非常清醒的头脑。他把我叫到他的办公室说：“凡事都



会有不同的反映,这件事也不可能是一个声音吧?"我立即回答说:"是的,我也听人说,怎么党的知识分子政策都落实到钱学森一个人头上了。"于是钱老说:"是啊!涉及知识分子政策,那就不是一个个人问题了。作为钱学森个人,我没什么可顾虑的,他们爱怎么宣传都行。但今天,钱学森这个名字已不完全属于我个人,所以我得十分谨慎。目前在科技界,有比我年长的,有和我同辈的,还有许多比我年轻的。大家都在各自的工作岗位上,为我国的科学技术事业作出了贡献。不能因为宣传钱学森过了头,影响到别人的积极性,甚至在年轻人中产生逆反心理,那不是适得其反吗?那就影响到全面贯彻党的知识分子政策问题了。我这么说,并不是故作谦虚,表白一下自己,我的意思是要下决心煞住。你给有关的报纸杂志打招呼,要他们把关于我的稿子撤下来,到此为止吧!该划个句号了。"有的杂志还想发表几篇回忆钱学森的文章,并说文章已经排版。钱老咬紧牙说:"这种文章是在一个人死了以后才发表的,我还没有死,他们急什么!"在钱老毫不客气地坚持要求下,宣传钱学森的活动才算告一段落。通过上述谈话,读者可以了解到钱学森同志对待荣誉的思想境界和高尚品格。我作为他的秘书,也从不向他回避社会上的不同声音。一个尊重科学的人,反映情况就得实事求是,全面客观。

四、科学家的秘书要具备较高的科学素养。我在下笔写这个问题时,开始思想上颇有顾虑,因为这会有自我吹嘘之嫌。写还是不写?但我自信自己并不是一个往脸上贴金的人。十几年来在这一点上也颇有体会,常感自己知识的贫乏,不能适应工作的需要。所以我想只要本着实事求是的态度,总结经验教训,说出来也许对年轻的秘书们有所启迪。还是写吧!

按一般常规来说,科学家如果配有秘书或助手,那就不是普通的科学家了,通俗点说,是"大科学家"。大科学家都有坚深而渊博的知识。做大科学家的秘书,协助他处理科研、教学、著书、立说等工作上的事,没有一定的科学修养,自然是不能胜任的。

我在钱学森这里做秘书工作,日常所遇到的困难也不少。但是首先遇到的困难,而且一直困扰着我的,说句老实话,就是知识的不足。我在大学学的是电真空技术,60年代初分配到国防科委情报所,做航天技术情报工作,能阅读英文资料,但听、说英语有困难;知道一些火箭导弹和卫星的事,

但没有从事过具体工程项目，那点专业知识也很肤浅。一到钱老手下工作，涉猎的面可就宽了，其中又有许多深奥的问题。开始我真像生活在云里雾中，压力很大，甚至怀疑自己是不是走错了门，不该跨进这一步。不得已，只好硬着头皮学习。在处理钱老日常的来往信件和书报杂志时，插空抓紧时间浏览。这种零打碎敲的学习有一定作用，但缺乏系统的知识，解决不了基础薄弱的问题。于是又硬着头皮，读了几本大部头的厚书。回过头来想想，这十几年有进步，但也始终有压力。

钱老过去在谈到解放后培养的我们这一代知识分子时，说有两大不足：一是马克思主义哲学，二是外文水平。我说："钱老，根据我的体会，还有一个不足，那就是数学。像我这样工科专业出来的人，大学里也就是学了点微积分，所以毕业以后在工作中遇到深一点复杂一点的数学问题，就钻不下去了，抽象的物理概念自然弄不懂。"钱老说："你说得有点道理。"我接着又问："钱老，您的数学好，您认为是什么数学给您奠定了基础?"钱老说："复变函数。30年代我在美国加州理工学院读研究生时，选修了复变函数，以后数学的进展我都能跟上。"后来我也找过有关复变函数的书来读，但还是没有读懂。许多人把自己的研究成果寄给钱老，请他指点。这些论文都是我经手送给钱老的，只要论文中涉及大量复杂的数学运算，我就懵了，只好交给钱老自己去处理。而钱老的答复，总能击中要害。说明他不仅看懂了那一道道具体的数学演算，而且抓住了其物理本质。曾经有一位比钱学森还老的老先生写了一本书，据说是他一辈子的研究成果，想请人评价一下，但书中全是数学运算，没人看得懂。最后他通过一些关系，找到钱学森，请这位中国"最大的科学家"给予评价。我把他的书呈给钱老，心里只嘀咕：要是钱学森也看不懂可怎么下台？结果钱老作了非常中肯的回答，认为它不是现代意义上的科学，并举出外国和中国此类研究的例子，指出这不过是玩数字游戏，经不住实践的考验，因而它不是辩证唯物主义的。钱老写了满满两页纸，有观点，有分析，有例证，令看者不得不心悦诚服。

我举出这些例子，是想说明自己的知识是多么贫乏，许多科学上的一般问题都处理不了，更不用说那位老先生的书了，只好一股脑儿推给"首长"。今天，年轻的大学生们虽然基础知识比我们那一代人学得牢固一些，但在工作中恐怕还得注意学习，才能适应今后科学技术的迅速发展而不断提出的



更高要求。

当今的秘书还有一项技术要求，那就是使用计算机。可惜我们这一代人年轻时没有条件接受这种培训，现如今老眼昏花，两手不听使唤，学习起来十分吃力。在这方面年轻人比我们强得多。但年轻人也有他们的弱点，像我以上讲的心得体会，就不是一朝一夕能有的。他们即使有某些体会，大概也不会比我这样的老秘书理解得深刻。这样看来，我把自己的心得体会写出来，也许不是白做功。

一个合格的秘书应具备的基本素质要求还有很多，因此，本文所论肯定是挂一漏万的。即使是做科学家的秘书，也不能说科学家们都像钱学森一样，一个模式。所以具体到某一位科学家，那得根据各人的不同特点进行工作。所以，秘书们若能经常互相交流一下自己的心得体会，我想彼此是会有启发的。

我将此文献给钱学森同志，是怀着深深的敬意，感谢他多年来对我的帮助和教诲，不仅使我在学识上有所进步，更重要的，是使我在人生的旅途上明白了许多做人的道理。我想，透视一位科学家，当然要看他在科学上取得的成就，但同时也要看他在世界观和人生观上所攀登的高峰，在人格和品德上所达到的境界。我认为这两者是密切相关的。钱老曾经列举出许多世界著名科学家，像A·爱因斯坦、R·奥本海默、L·鲍林等，说他们不仅献身世界和平和人类进步事业，而且其思想都是辩证唯物主义的；他还特别推崇美国女生物学家B·麦克林托克为科学事业的献身精神。她为了研究遗传基因中的转座子，每天在田间"和玉米对话"，几十年如一日。没有这种无私的奉献精神，在科学上是不可能取得重大成就的。因而，我写这篇工作小结的另一个目的，是想通过我这个秘书工作的一个侧面，将十几年来所感受到的钱学森的许多感人事迹中的一小部分介绍给广大读者。我认为它是中华民族精神财富中的一部分，永远值得我们学习和继承。

（原载《中国军工报》1997年12月18日第三版）

科普是理解科技的桥梁

——钱学森谈科普

提起钱学森,许多人都知道他是一位大科学家,对我国的火箭、导弹和航天事业,甚至整个科学技术事业都做出过杰出贡献。但是,说到钱学森还积极倡导科学普及事业,并亲自做科普工作的事,知道的人恐怕就不多了。

论文要加一个副篇——让外行人读懂

钱学森多次强调,做好科普工作并不那么简单。科技人员要把一个专业化的问题向外行人讲清楚并不容易。

钱老说:"我在美国那么长时间,知道他们那里没有这个本事不行。美国的科研人员要争取基金会的经费支持,就要参加董事会的会议,向董事们做 10 到 15 分钟的讲解,在限定的时间里把要报告的事情讲清楚,否则就得不到经费。这就是一个社会要求,也是一种压力。所以在美国,中学里就有辩论会,培养人的口才。"

钱老举了一个怎么让不懂的人懂的例子:他在美国加州理工学院研究超声波问题的时候,有一次,系里来了一位官员,是美国国会议员,管这方面事的,问超声速是怎么回事啊。他的老师冯·卡门是很会作科普宣传的,先不说什么,把国会议员带到澡盆边,放上水,用手在水面上划。划得很慢很慢,水波就散开了,于是告诉议员这是因为手划得比水波慢,像亚声速;又划得很快,水波就成尖形两边散开,这就像超声速。这位国会议员说懂了,其实也没完全懂,只是这个意思大致上明白了。

"我回国后发现中国的科技人员这方面的能力比较差,往往是讲了十几分钟还没到正题,扯得老远,有些简直就让人听不懂,不会用形象、通俗易懂的语言表达好专业科学知识。从前我问过一些听科学报告的党政干部,他



们就常常说没听懂，他们欢迎我去讲，说听我讲能懂得差不多。我回到祖国接受搞导弹的任务后，在积水潭总政文工团的排演厅作报告，讲高速飞行问题，当时陈赓大将和许多高级将领都在座。讲完以后有一个人对我说，他这次算听懂一点了。

"要求科技工作者对不在行、不懂的人介绍你的工作，我觉得是很需要的。但是许多很有学问的人为什么做不好呢？一般说是口才问题，实际上是不会用非本行人的思维逻辑和通俗易懂的比喻，不会用形象的语言来表达你要说的科技问题。

"前几年有这样一件事，豆科植物的根部有固氮的根瘤菌，有个人想把它移植到其他植物上，像麦子什么的，这对粮食增产有很大的作用。他搞出了成果，写信告诉我某日某时电台要广播，我特意听了，结果是一点儿也没讲清楚怎么回事，让人听了莫名其妙，这就是个问题。你至少要让人家听懂百分之七八十吧！

"我们国家重视出成果是对的，但还要重视培养科技人员三言两语讲清问题的能力，要培养这样的人。我一直在宣传这个观点，还曾给西北工业大学提过一个具体建议：对学位论文，不管是研究生也好，博士生也好，所有的论文都要加一个副篇，这个副篇就是要对一个不在行的人讲清楚你的题目。可惜我的建议没被采纳。

"今天情况不同了，现在我们建设有中国特色的社会主义，发展社会主义市场经济，就不能还像计划经济时代那个样子，坐等科研拨款。科学工作要争取资金的支持，更需要科技人员具备这方面的才干。"

钱老说过，这件事跟记者也有关系，有些问题恐怕写文章的记者自己就没搞懂，这就不好办了。在美国有名的科学记者都有一套本事，他们是比较专业化的，认得一些科学家，写出来的东西比较准确，又能让你懂得差不多。

钱老说："早些时候电台每天早晨有个 15 分钟的《科技知识》节目，后来改为《科技与社会》，我是天天听这个节目的。1984 年在人民大会堂开茶话会，纪念这个节目开办 35 周年，我去参加了。当时我说要在 15 分钟以内使你的听众有所收获才算成功，不要让他听了半天也不知道是怎么回事，那就没起到作用。"



建立科普学——对世界的认识才全面

钱学森曾指出，搞科普工作，要利用一切手段，不要限于哪一个方面。我们把科普写作叫科普创作，科学文艺也是一个方面，此外像电影、电视、广播也非常重要。科技馆、博物馆都是重要的。还要注意利用一些新的技术手段。

钱老讲过一个故事：美国一个著名大学叫耶鲁大学，是私立的，靠资本家捐钱来办。70年代初，学校要盖一座附设于图书馆的塔楼，用以展览名画、名作品。他们学校有建筑系，蓝图都设计好了，但哪一个财主肯花这个钱呢？学校琢磨怎样才能说动大财主的心，让他掏钱。校长认为必须有个办法，使财主高兴了，才会给你掏钱。他把各系的人找来商量，有人提了个意见，说你要生动地介绍这个塔楼盖好以后的校园景色。

为此，搞计算机的教授建议用电子计算机做一个电影。电影的脚本是说这个财主进了校园，一看，唔，校园里还有一座塔式的大高楼，其他的建筑还是老样子。于是他慢慢走到塔楼门口，进去了，一层层地上去，每上一层看看校园景色，最后到了最高层，往下一看，啊！这校园的风景真美呀！校长说这主意好，就这么干。后来电影出来了，完全是电子计算机做的，资本家没参加拍摄，但他的形象却栩栩如生。结果，这招儿灵极了，大财主一看很高兴，这捐款就成功了。

“这是70年代末的故事。现在电子计算机发展得更快了，出现了信息网络、多媒体、灵境(Virtual reality)等新花样，应用更广泛了。”钱老说。

“我再讲个故事，有一家飞机公司，设计一架新飞机，设计好了，有人提意见说这飞机的尾巴高了一点，纽约的机场，从乘客上飞机到上跑道的过程中，飞机要经过几处上面有梁的地方，尾巴高了可能碰上。那怎么办呢？这很好办。把数据输入到计算机里，在计算机里做出这个飞机，让它按这条路走一趟，看碰不碰。不碰，设计就通过了。现在大汽车公司设计汽车，都是把数据输入计算机，由电子计算机画出最后的工艺设计图纸来。

“用电子计算机来做科教电影电视，这是一个新发展。搞科普的人要学会运用这些新的技术手段。”

钱老提出：科普工作有没有普遍的规律可遵循，可不可以建立一门科普学。

“我是赞成建立科普学的，我认为科普学实际上是科学学的一部分。科学学是研究人在社会里的科学技术活动规律的，科普学是科学技术活动的一个方面，所以科普学应该是科学学的一个组成部分。科学学实际上是社会科学，不是自然科学，因为它是讲人在社会里进行的科学技术活动，是社会活动，所以我认为科普学性质上也是社会科学，像经济学似的。

“科学学总的是马克思主义哲学来指导，具体地讲是刚才说的桥梁，是用历史唯物主义来指导。现在我们来研究这门学问首先从历史开始，先要搜集历史资料，这是很重要的。资本主义兴起以后才重视科普，所以主要是研究资本主义社会的科普工作、发展的历史、具体的体制，以至于花多少钱等。这些都是要搜集的。

“我们的眼光还可以放开些，需要大家去做工作，如果我们把眼界放开搜集历史资料，基本目的又很明确，再加上有马克思主义哲学、历史唯物主义的指导，我们就能成功。科普学的研究大概就是如此了，将来准可以搞好。”

钱老认为，研究学问，一个是目的，一个是指导思想，再一个是具体的历史资料和经验的综合。全过程都要用马克思主义哲学作指导。

[原载《科技新时代》(*Popular Science*)1997 年第 1 期，总第 13 期]



科学技术管理中的民主与集中

——钱学森的实践经历

钱学森同志最近在谈到新中国的科学技术事业，特别是我国导弹、卫星事业早年的成功经验时，多次强调指出：周总理和聂老总当年抓科学技术工作，管“两弹一星”的经验，很重要的一条，就是又有民主，又有集中。他认为这是科学学和科学技术管理的大事，这方面的经验值得认真总结。即使在今天的形势下，过去这些成功的经验也应该继承和发扬。

在科学工作中提倡民主的作风，发扬科学民主和学术民主，这是科研工作的特点和规律所决定的，古今中外，概莫能外

钱学森同志曾经说，在科学工作中，凡是提倡民主作风，学术民主发扬好的单位，科研成果就多，科学成就就大。相应的，也培养出许多科学人才，出大科学家。他曾举例说，过去在物理学界有两大学派：一派是以丹麦物理学家N·玻尔(N. Bohr)为首的哥本哈根学派；另一个学派是以德国物理学家W·海森伯(W. Heisenberg)为首的格丁根学派。这两个学派都重视发扬民主的学风，两派之间也经常互相交流，因而他们对科学的发展，特别是在创建量子力学上，作出了重大贡献。一件有趣的事情是，1922年6月，格丁根大学邀请哥本哈根学派的代表人物N·玻尔去讲学。当时玻尔已得诺贝尔物理学奖，是一名大权威。而年仅20岁的海森伯还只是格丁根大学的研究生，但他居然敢在讨论中对玻尔的某些论点提出异议，并勇敢地进行辩论。玻尔对这位年轻人的挑战不仅没有任何不悦的表示，而且在讨论结束时约他当日下午一同散步，以便继续讨论。这次与玻尔在散步中的长时间谈话，对海森伯的启发很大，并成为他科学上成长的起点。

更为有趣的是，钱学森的老师冯·卡门(von Kármán)教授就出自格丁



根大学,他到美国加州理工学院以后,把格丁根的民主学风也带到了美国。他每星期主持召开一次研究讨论会(research conference)和一次学术研讨会(seminar)。这些学术活动十分民主,气氛活跃,不论是专家权威,还是普通研究生,大家一律平等,都能畅所欲言,发表自己的学术观点,并展开讨论。这给年轻的钱学森提供了锻炼创造性思维的良好机会,使他终生受益。钱老后来回忆说,他那时年轻,有点初生牛犊的劲儿,在一次美国航空学会的年会上,刚讲完自己的论文,就有一位长者提出意见,钱便说明自己的不同观点,并和那位大教授争论起来。事后冯·卡门对他说:"你知道你是在和谁争论吗?那是大权威冯·米赛斯(von Mises)。但是,你的意见是对的,我支持你。"卡门的谈话使年轻的钱学森很受鼓舞。在另一次师生学术讨论中,钱学森却和他的老师冯·卡门发生了争论。他坚持自己的学术观点,毫不退让,令冯·卡门十分生气,话语激烈而又尖刻。事后这位世界大权威经过思考,认识到在那个问题上,他的学生是对的。于是第二天一上班,年过花甲的卡门亲自爬了三层楼梯,来到位于三层楼一个旮旯的钱学森小小的办公室,敲开门,恭恭敬敬地给钱学森行个礼,然后说:"钱,昨天的争论你是对的,我错了"。冯·卡门的博大胸怀令钱学森十分感动,并终身不忘。他在回到祖国以后,力图把冯·卡门的学风也带回来,自己以身作则,并多次以冯·米赛斯和冯·卡门的例子教育中国学者。他在回国以后主持过许多讨论会,有比较成功的,也有不太成功的。由他倡导举行的系统学讨论班和人体科学研讨会属比较好的。通过这两个学术讨论会,形成了复杂巨系统学的理论,创建了人体科学这样一门大的学科。但是,就总体而言,他觉得中国人受传统封建思想意识和文化的影响太深,那套民主的学术风气不易形成,令他十分感慨。进入耄耋之年的钱学森仍念念不忘宣传学术民主。

民主和集中是两个相对的概念,是矛盾的两个方面。按照辩证唯物主义的观点,有矛必有盾。所以在科学讨论会上,除了强调民主的学风,还有没有一个集中的问题

钱学森认为,在这样的学术讨论中,也要讲究集中。当然,应该说清楚

的是，在学术讨论中要贯彻“百花齐放，百家争鸣”的方针，不能强制推行某一种理论或观点。然而，学术讨论要有成效，也不能漫无边际的谈下去，总要通过讨论和争鸣，在民主的基础上得出大家一致公认的结论，使正确的学术思想和学术观点得到承认和发展。所以这里所说的集中，是指对正确意见的集中，而不是简单的少数服从多数。在学术讨论中，是不能用多数表决的办法解决问题的。钱学森同志根据他多年从事科学研究和科研管理工作的经验指出，能否正确地集中，关键在于讨论会的主持人，在于主持人的学识和水平，在于主持人驾驭讨论会的能力。而冯·卡门就很会主持这种讨论会。钱老说，这种讨论会一次讨论一个专题，先由一个人作主题发言，大约讲半个小时，然后大家展开讨论，最后主持人用一刻钟的时间进行小结：今天的讨论明确了什么问题，可以得出哪些结论，一、二、三；还有什么问题大家有不同认识，或没有讨论清楚的，也是一、二、三等等，这些问题留待下一次讨论。他说，冯·卡门的小结总是高度概括，简明扼要，语言幽默而生动，且富有创造性。参加这种讨论会不仅可学到许多东西，而且简直是一种享受。钱老说，这个事情很难，在国外也不是做得都好。然而一旦做好了，成就必是了不得的。

主持人是不是具有民主的作风，敢不敢于充分发扬民主，是一个思想作风问题；而主持人会不会发扬民主，善不善于集中，却是一个领导水平和领导艺术问题

回到祖国以后，钱学森参加的第一个重大活动是制订12年科学技术发展规划。这项工作由周恩来总理亲自主持，聂荣臻等同志也参与领导。周总理的民主作风和高超的领导艺术使钱学森十分钦佩。他回忆说，那时他刚刚回国，许多情况并不了解，他的印象是科学家们对制订这样的规划积极性很高，提出了许许多多建议和意见。关于制订规划的原则，项目重点等等，也有很多争论，有时甚至是非常激烈的争论。周总理、聂老总他们一方面在大的规划原则上掌握方向，另一方面在具体项目上又放手让科学家们去讨论决定。关于规划的原则，当时的争论主要集中在是按任务来规划，还是按学科来规划。通过充分讨论，最后中央决定以任务带学科作为这次规

划的基本原则。这项原则虽然得到多数科学家的赞同，但有一部分科学家，特别是搞基础理论研究的，仍有不同意见。对于这少部分人的意见，周总理也不忽视，他在细心听取了大家的意见以后，决定加一章“现代自然科学中若干基础理论问题的研究”。于是这场争论得到了圆满地解决。周总理民主的作风和集中的艺术在这个问题上得到了充分的展示。

当然，科学院许多科学家认为，钱学森本人在制订12年科学规划中，作为综合组的组长，以他渊博的学识，民主的作风，在确定规划的项目重点等重大问题上，也发挥了重要作用。比如在飞机和导弹、有线电和无线电、核能技术、计算机和半导体，甚至在有关农业和水电等等问题上，他都敢于并善于和各个不同领域的科学家展开认真地讨论和争论，最后在民主的基础上，集中统一了认识，明确了项目的重点。

参与这项工作使钱学森深有感触，他觉得自己在美国学到的这种在科学工作中既讲民主，又讲集中的心得体会，与我们的社会主义政治体制是完全一致的，而且在我们这里做得比资本主义国家更好。因为我们将民主与集中作为一种制度规定下来，这就是民主集中制，我们的行为是自觉的，而不仅仅是停留在一种自发的朴素思想认识上。

民主与集中的问题虽然带有一定的理论性，但更重要的则是一个实践问题。在实践中处理好二者的关系，则会互相促进，互为补充

只有充分地发扬了民主，才会有高明的集中。反过来，正确的集中，体现了民主的意志，使大家都心悦诚服，心情舒畅，这又能促进民主的发扬。因此，对于实施一项需要群策群力的大规模的系统工程来说，发扬民主和正确集中就显得更为重要了。所以钱老说，这种既讲民主，又讲集中的科研管理办法，在管理他所说的大科学，即如“两弹一星”这样的大规模科学技术工作中，尤为重要。周总理、聂老总当年用这套办法管理“两弹一星”工作，十分有效和成功。而钱学森本人作为我国导弹卫星事业初创时期在技术上的负责人，也是运用这套办法，成功地解决了许多管理上和技术上的难题，为我国导弹、卫星事业作出了杰出的贡献。



钱老回忆说，周总理当时是中央专门委员会的负责人。每次专委会开会，讨论导弹卫星研制工作或发射试验的重大问题时，总理总是嘱咐多找一些人参加，让各个方面的负责人都能与会，以便全面听取大家的意见。会议往往在人民大会堂某个厅举行，座位摆成一个圆圈，使大家感到平等的气氛。有时参加的人多了，圆圈摆成两排。总理总是先让每一个人发言，他听得十分认真，并不时提出问题和大家讨论。有一次在谈到一个问题时，一位技术人员发表意见，总理听后表示说："你这个意见好，按你说的办"。秘书马上小声提醒周总理，说这个问题您过去已经批示过了。总理立即提高声音说："我批过的事，错了也要改嘛！"周总理这种民主的作风，令钱学森印象深刻，几十年后，他还常常以此教育后人。

发扬民主，需要有和谐融洽的氛围

钱老说，那个时代生活很简朴。周总理主持开会，因参加的人多，总理听得又仔细，甚至某个技术指标或数据，这次汇报如果与上一次的有出入，也会被周总理立即发现，他要追问什么原因。所以凡向周总理汇报，事先都要认真准备。即便这样，周总理也会常常提出一些大家意想不到的问题。所以会议往往开得时间很长，有时开到深夜，甚至凌晨一两点钟。中间加餐，或一碗面条，或两片面包，边吃边谈，气氛非常融洽。吃饭都按规定收款，当时一个人也就是一两毛钱的标准。钱老说："人民大会堂的工作人员不认识到会的许多人，但都认识我，所以常常在第二天把加餐费的通知单送到我的办公桌上，我就统一为大家付款，总共也不过 10 元钱左右。"他说："我工资比别人高，多出点钱是应该的。"当时那种和谐民主、团结互助的气氛，至今令许多人神往。周总理针对这项事业的特点所提出的"三高"要求，即"高度的政治思想性，高度的科学计划性，高度的组织纪律性"，以及"严肃认真，周到细致，稳妥可靠，万无一失"的工作作风，一直是从事这项事业的千万人的座右铭，他自己就是一个活生生的楷模。所以我们国家在那么困难的条件下，花钱比外国少，而"两弹一星"的发展速度却比他们快得多。



建立上下级之间的相互信任关系，是发扬社会主义民主的重要问题

聂荣臻同志在周总理的领导下，具体组织"两弹一星"事业。他虽军旅出身，但作风却十分民主，尊重科学规律，尊重科学家的意见。他抓国防科技事业，始终是总揽全局，抓大事：制订有关的方针、政策，组建机构，调配人员，组织队伍，保障条件，组织攻关等等。至于具体的技术问题，他不干预，完全交由科学家负责，听科学家的意见，这体现了聂老总对科学家的充分信任。钱学森同志说，在聂老总手下工作，是他一生中最幸福的一段时光。要执行发射试验任务了，聂老总让他的秘书给钱学森打个电话说："老总明确，这次试验任务，技术上由您负责，零时（即发射时间）确定以后，打个电话报告他就行了"。这个电话虽简单，但对钱学森来说，担子却是非常沉重的。他是按照周总理提出的"三高"要求，做到"万无一失"，这并非易事。所以每一次发射，他都要亲临第一线，在基地一蹲就是十天半月，甚至一个月。当时保密要求十分严格，他出差在哪里，干什么，从来不对家人讲。有一次一个多月他爱人蒋英在家里不得音讯，她不得不找到五院询问："钱学森干什么去了，这么长时间渺无声息，他还要不要这个家了？"五院的同志和颜悦色地告诉她："钱院长在外地出差，他平安无恙，只是工作太忙，暂时还回不来，请您放心。"蒋英听了心里明白，具体事情也不再多问了。

正确的集中需要领导者的学识和胆识

钱老说："我在基地就是抓各个系统、分系统甚至元器件的负责人，哪里出了问题，我就把负责人找来，听取他的汇报，并根据总的任务要求令他在限定时间内解决。如果问题涉及几个系统，那就把有关人员召集起来讨论，充分发扬技术民主，最后由我作总结。对意见一致的问题，那好办；不一致的，由我集中、拍板，错了由我负责。"钱老回忆说，"有一次发射，在试加推进剂时，因操作有误，出现个大问题，即弹体瘪进去一块。当时大家看了都有点紧张，跑来向我报告，我立即爬到发射架上察看，然后回来组织讨论。核心问题是

怎么办？能不能发射？发射程序还能不能继续往前进行？争论很激烈，多数人表示担心，主张停下来，不能发射。但我过去在美国做过这种壳体的研究工作，我认为这是由于试加推进剂后，泄出时忘了开通气阀造成箱内真空，外面空气压力大，压瘪的。点火发射后弹体内的压力会升高，壳体就会恢复原状。所以我主张发射照常进行。"钱老说："我的分析许多人虽然认为有道理，但他们还是非常担心，司令员不敢在给中央的发射报告中签名，那只好由我一个人签名。"报告电传送到北京，聂老总说："这是一个技术问题，既然技术上由钱学森负责，他说可以发射，我就同意。"最后这次发射还是成功了。

当然，我们的试验也有失败的时候。1962 年，我国自己设计的第一枚火箭首次飞行试验，因控制系统失稳和发动机起火，火箭坠毁在发射台附近。当时全体参试人员大为震惊，人人都感到痛惜。作为技术负责人，钱学森自己压力也很大。这时聂老总来了指示："不要追查责任，重在找出故障原因，总结经验教训，对找出故障原因的人，不仅不处分，还要给予奖励"。老总的指示立即解除了大家的思想顾虑，他的信任和期望使全体参试人员深受感动，于是大家群策群力，不仅很快找到这次故障的原因，而且五院还发动了全院的大讨论，从技术上，管理上，制度上总结经验教训。在此基础上制订的《国防部第五研究院暂行条例(草案)》，对型号研制与设计工作，研究工作，试制工作，技术责任制与科学技术委员会，组织计划与条件保证、政治工作、党的组织与工作等，都作了明确的规定，从此使五院的工作进一步走上了正规化、科学化的轨道。钱学森认为，这个条例本身就是实行民主而又集中的科学管理的产物。聂荣臻同志也根据大家民主讨论得出的对火箭导弹这样一个大规模系统科学技术的认识，提出了按"三步棋"安排的一套反应科学规律的科研程序，这就是预先研究、型号研制和小批量定型生产。钱学森认为：五院的条例，聂老总的"三步棋"以及随后制订的 8 年 4 弹规划等产物，是五院科技人员集体智慧的结晶，是周总理、聂老总他们领导有方。所以他在不同场合多次强调，像"两弹一星"这样的大规模科学技术工作，是成千上万人的事业，组织工作非常重要。周总理、聂老总就是按照解放战争时期组织大兵团作战的方法，把这支科技队伍严密地组织起来，并充分发挥我国社会主义制度的优越性，利用民主集中制的办法管理这项事业，取得了举世瞩目的成就。



处理好民主与集中的关系，领导者需要摆正自己和群众的位置

钱学森同志说，他常常讲，一切成就归于党，归于集体，这句话是什么意思？就是强调这项尖端技术，是千万人的事业，少数人是无能为力的。在我们当时那样贫穷落后的社会主义国家，没有毛主席的支持，没有周总理、聂老总他们强有力的组织领导，没有大家的共同努力，大力协同，集体攻关，是绝对不能成功的。在说到他个人的作用时，钱老说："我的作用仅是沧海一粟，不过是恰逢其时，做了我应做的一点工作"。"党和国家给我这个任务，说实在的，开始我心里也没数。在美国，我懂一点导弹、卫星的事。但也没有真正发射过导弹、卫星，怎么办？只好和大家商量。……每个星期天下午把各个型号的技术负责人请到我宿舍去讨论问题。总工程师们都畅所欲言，这对明确问题，解决问题起了很大的作用"。所以钱老最近说："我并没有什么高招儿，我的办法就是搞真正的民主集中制"。当然，这话说起来简单，做起来并不那么容易。面对这么一个涉及许多学科的综合而又复杂的高科技系统工程，没有渊博的学识，高超的领导艺术，并能熟练地运用辩证唯物主义，在各种意见激烈纷争的情况下，是不能正确进行集中的。在航天领域许多年纪较大的科技人员都会有这样的印象：钱学森主持某个技术问题讨论会，他在听取汇报和进行讨论时，绝不忽视任何一个技术细节，他敏锐地提出问题，并和你开展讨论。在这种场合，他的作风绝不像一位大科学家，而是一名普普通通的科技人员。为了一个细小的技术问题，一个数据，一条曲线，一个程序或一个操作，他会和你争得面红耳赤，绝不退让，直到水落石出，才肯罢休。到会议结束前，由他作会议总结时，钱学森又表现出一位大科学家的风采，他的小结，往往是来自讨论而又高于讨论，使争论双方不得不心服口服。我认为这就是一位科技帅才的风范。

以钱学森为首的一批系统科学工作者近年来所创立的关于开放的复杂巨系统理论，从定性到定量的综合集成法和综合集成研讨厅体系就是这种又有民主，又有集中的管理方法的理论升华。如果我们使用综合集成研讨厅这种现代先进的技术手段，采用人-机（计算机）结合和人-机交互的办法，



真正实践了民主与集中，那么我们就可以做到古人所说的"集其大成"了，其结果必然使我们的知识和智慧上升到一个新的高度和层次。这就是钱老说的"集大成，出智慧"。

钱学森同志现在已经年迈并退居二线，但他仍然在系统科学、思维科学、人体科学等领域辛勤耕耘，并在理论上不断突破，成就卓著。与此同时，他也十分关注我国目前的科学技术事业。这也许就是他重提科研管理中民主与集中问题的目的所在。看来，这的确是科学学和科学技术管理的大事。

（原载《中国军工报》1997 年 10 月 21 日第二版）

钱学森的第六次产业革命预见和沙产业

一、钱学森的沙产业理论来自他关于第六次产业革命的科学预见。

1984年我国著名科学家钱学森在中国农业科学院作学术报告时提出，由于生物科学技术的发展，人类社会将会出现一次新的产业革命，按照他的观点，这是人类社会发展史上的第六次产业革命。这是一个重要的科学预见，它揭示了科学技术与人类社会发展的关系，体现了邓小平同志提出的"科学技术是第一生产力"这一马克思主义的基本论点。钱学森同志是从唯物史观来考察人类社会发展的。他认为，从社会的经济形态这样一个侧面来说，第一次产业革命应该是人类从狩猎为生到出现农牧业，第一产业出现了，这是人类社会的一大进步。这在中国大约是一万年前的事；第二次产业革命是商品的出现。即由于农牧业的发展，有了剩余的物资，要出售，于是许多人放弃了农耕，从事经商活动，这又是一次产业结构的大调整。这在中国大约发生在3000年以前；而第三次产业革命就是17世纪末18世纪初由于蒸气机的发明在西方国家引发的产业革命，一般人称它为"工业革命"，但它的影响远不限于工业，而是影响到农业、商业和人类生活的许多方面，是又一次产业结构的大调整；此后的另一次产业革命就是19世纪末20世纪初西方发达国家兴起的国家和国际产业组织体系，即大的垄断集团和跨国集团公司，它不仅实现了大企业集团的全球化，而且引起了管理科学技术的革命。80年代初期钱学森同志在讲新技术革命问题时曾提出，随着微电子、通信和计算机技术的发展，人类社会将面临另一次产业革命，即信息革命，这是人类社会发展史上的第五次产业革命。但在那时，信息对社会的影响和意义并不像人们现在看得那么清楚，一个典型的例子是1985年在讨论国务院领导同志在全国科技进步奖励大会上的报告稿时，针对报告中只提到能源、交通是影响国民经济发展的重要问题时，钱学森提出，还有一个问

题也是影响整个国民经济发展的,那就是信息,他建议把这个问题加上去。但没有得到多大反响,最后的报告还是只提了能源、交通问题。但是,经过了十几年以后,在今天,信息的重要性已经是毋庸置疑的了。特别是在一些发达国家,像美国,信息产业的产值已超过传统的钢铁、汽车、石油等工业的产值,成为国民经济的支柱产业,并改造了传统产业,影响到人类生活的各个方面。所以,信息革命的提法已被广泛接受了。

在预测信息革命的同时,作为一名具有战略眼光的科学家,钱学森同志还大胆地预测了21世纪将会出现的另一次产业革命,即第六次产业革命,这次产业革命的核心是生物科学技术。由于生物科学,特别是分子生物学和生物技术像遗传工程等的发展,对于农业、工业、医药卫生、食品营养等等人类生活的许多方面都会产生深刻的影响,改变人类社会的产业结构,因而它是又一次产业革命。生物科学技术的这一发展及其意义,在今天看来已不是遥不可及的事情了,在美国,有远见的资本家都在大量投资,开发这一意义深远的产业。所以,在世纪之交的今天看来,这次产业革命已不是会不会发生的问题,面是第六次产业革命的钟声已经敲响,我们要为迎接这一产业革命加大生物科学研究的力度,积极开发生物技术和生物工程。

二、钱学森认为,以生物科学技术为核心的第六次产业革命,将首先改造今天的农业,创建一种知识密集型的农产业。这是一种大农业的思想,界定为利用阳光,通过生物的光合作用,制造人所需要的产品的产业,它包括农产业、林产业、草产业、海产业和沙产业。对于这几项产业,钱学森同志都有科学的论述,本文则专门讨论沙产业问题。

实际上,关于我国沙漠戈壁的状况和可否开发利用沙漠戈壁的问题,早就在钱学森的内心酝酿着。从60年代到70年代,钱学森同志负责我国火箭、导弹和卫星事业的技术工作。每次发射试验,他都到试验基地现场办公,解决随时出现的技术问题。因此他的足迹曾到过甘肃的酒泉,内蒙古的额齐纳旗,新疆的库尔勒、马兰等。从那时起,戈壁沙漠条件之恶劣,边疆人民生活之艰辛,给他留下了深刻的印象,并时刻在他的脑海中浮现。但那时他发现,戈壁荒漠并不像外人所形容的那样,是寸草不生的死亡之海。在茫茫的戈壁也有耐干旱、抗风沙、耐盐碱的植物顽强地生长着,有些植物,像沙棘、甘草等还有很高的药用价值和经济价值。游牧的骆驼,奔驰的黄羊,给



戈壁注入了生命的活力。但由于当时科研试验任务繁重,他没有精力进一步思考和研究这个问题。

到80年代中期,钱学森提出沙产业时指出:"我国沙漠和戈壁大约16亿亩,和农田面积一样大。沙漠戈壁并不是什么也不长,极干旱不长植物的只是少数,大部分还是有些降水,有植物生长,有的还长多年生小植物,也有少部分干旱地沙漠化了,可以考虑引水灌溉。目前人们从沙漠和戈壁获取的只限于特产的药材,但也只采不种。沙漠和戈壁的潜力远远没有发挥出来。作为沙产业,应该既采又种,提高产量。"1995年11月,钱学森同志在由林业部、中国科协和甘肃省联合召开的沙产业工作会议上的书面发言中则更进一步地明确指出,"什么是沙产业?沙产业就是在'不毛之地'搞农业生产,而且是大农业生产。这可以说是又一项'尖端技术'!"作为一名耄耋之年的老科学家,在他看到这一事业的光辉前景和伟大意义之后,满怀激情而又充满信心地说:"这能行吗?近年来甘肃人民在省领导和地区领导的带领下,不是创造了'多采光、少用水、新技术、高效益'的中国沙产业吗?这一成就不就启示我们发展尖端技术的沙产业,也就是用现代生物科学的成就,再加水利工程、材料技术、计算机自动控制等前沿高新技术,一定能够在沙漠、戈壁开发出新的、历史上从未有过的大农业,即农工贸一体化的生产基地。在外国,以色列已经走在前面,我们要用从前搞'两弹一星'的精神赶上去,超过他们!再次用行动证明我们中国人是了不起的!"

我体会,钱学森同志这一沙产业思想和理论有以下特点:

1. 辩证思维的特点。干旱、风沙和沙漠戈壁对人类来说的确是一个危害,但在沙漠戈壁上也有一些特殊条件是内陆平原所没有的,这就是日照和温差。强烈的日照和昼夜较大的温差是有利于植物生长的,这就是同一事物的正反两面,只要我们采取节水措施,克服干旱缺水的不利条件,再充分利用其有利条件,就能在沙漠戈壁上开发出现代化的大农业,其某些作物的生长甚至优于内陆平原。

2. 积极进取的主动精神,由于钱老的辩证思维,他所提出的沙产业理论就不单单是治理沙漠,堵住沙化的蔓延。而是包含有一种积极进取的主动精神,看到沙漠上的有利条件,将沙漠作为一种资源,去开发,去利用。这是一种观念的转变,认识的转变。当然,钱老这种沙产业的理论绝不排斥对

沙漠的治理;相反,他是在我国人民防沙、治沙取得成就和经验的基础上,提炼出其积极的内核,使其更进一步,更上一个新的台阶。

3. 强调科学技术的推动作用和产业化思想。钱学森同志指出,搞沙产业一定要用科学技术来推动,而且要使用全部的高科技,而不是哪一项两项技术,这其中的核心是生物科学和生物技术。他预料,生物科学技术将使我国农业,也就是第一产业的面貌大改变,实现农业生产工厂化。到那时(也许是21世纪中叶)第一产业农业和第二产业工业就没有本质的差别了。和前几次产业革命不同的是,这次产业革命将发生在广大农村和集镇。农、工、贸一体化的集镇居民点,将会和大城市一样,具有相当高的文化水平、文化设施和商业设施,传统的“城乡差别”也将会随之逐步消失了。

作为一种科学的理论和实践,沙产业必将在我国大发展。这是毫无疑义的。为了推动沙产业的发展,首先要进一步宣传沙产业的理论、思想和观点。钱老关于沙产业的理论,是建筑在高科技,特别是以生物科学技术为核心的第六次产业革命的基础上的,是一种高瞻远瞩的新理论、新思想。是钱学森同志运用辩证唯物主义的思维来思考我国农业问题的成果,是有中国特色的。这种新理论、新思想要被人们广泛理解和接受,必将有一个过程。据我所知,目前人们对沙产业还有许多误解,其一是望文生义,以为沙产业就是沙土的加工和利用;其二是认为过去的防沙、治沙已取得很大成绩,何必又出新花样,搞什么沙产业,如此等等。这说明我们的宣传普及工作虽然取得很大成绩,但还不够,还需要进一步加强这一工作的力度。

另一方面要进一步试点和推广“多采光、少用水、新技术、高效益”的中国沙产业模式。甘肃、新疆、内蒙古的同志在这方面已经做了大量的工作,他们引进了少量的技术,但却没有照搬外国,如以色列的模式,而是结合中国的具体情况,从实际出发,土法上马,建成了中国模式的节水、采光、保温、防风沙的塑料大棚,建设了一批蔬菜瓜果等种植业基地,这一成果还在进一步向养殖业发展。以色列建设一个2亩地的塑料大棚需经费约5万美元,而我们建设一个近一亩地的塑料大棚只需人民币约1万元。这种中国模式的节水型无土栽培塑料大棚看起来尽管粗糙一些,但它解决问题,在沙漠戈壁一个3～4口人之家,一个大棚一年即脱贫。由此滚动发展,沙产业将大有希望。

三、钱学森同志不仅提出了沙产业的理论,而且身体力行,将他所获何梁



何利基金优秀奖的100万港元捐给了促进沙产业发展基金，带头为推动沙产业的发展作出了贡献。但是大家所不知道的可能是，作为一位著名的科学家，钱老本人的生活十分简朴。他一生早把名利二字置之脑后，早年抛弃美国的优厚物质待遇，不顾美国政府的阻挠和迫害，毅然回国。后来就一心扑在祖国的科技事业上，为我国科学技术事业的发展，呕心沥血，从不计较个人得失。他生活简朴，工资是他惟一的收入。回国后他曾写过好几部重要的理论著作，并有几笔在当时十分可观的稿费收入，但他都作为党费上交组织了。他父亲早年在杭州的房产也都一概上交国家。所以，在金钱和物质上，钱老可以说是清贫的。他拥有的只是渊博的知识，高尚的人品和超前的思想。

近年来钱老虽由于行动不便，不能亲临沙产业第一线，但他一直关注着这一事业的发展，关心着沙区人民的脱贫致富，思考着沙产业的方方面面。只要他有所思，就立即和刘恕、田裕钊等有关同志通信。考虑到沙产业需要有较大的资金投入，而国家一时又拿不出许多钱来，怎么办？这个问题一直困扰着钱老。当他从报纸上看到像三九企业集团公司，科瑞集团和中国安泰经济发展公司等大型企业集团开始投资农业的消息以后，高兴极了。1996年2月22日他给刘恕同志写信说："我非常高兴地收到您和裕钊同志节日来信；蒋英和我也要谢谢您二位寄来那张美丽的贺卡！我们也向您二位拜个晚年！我祝愿沙产业在新的一年里有新的成就！我认为这不是什么理想了，武威和张掖地区用新技术已展示了未来沙产业的概貌。而北京市通县永乐店的中以合作农场更显示了未来农产业的轮廓。所以技术是已经有了，要实现就必须解决资金问题；但现在我们也有了方法：我国的大型企业已开始注意到我国农产业的广阔前景，并开始投资农产业了，如'三九集团'等。这样，有了科学技术、又有资金，那社会主义中国的第六次产业革命已经起步了！我们的思想认识要跟上呵！以上我们是讲'绿色农业'，附上两个复制件，一个讲'白色农业'，一个讲'蓝色农业'，都有类似情况。所以刘恕同志、裕钊同志，我们真是生逢盛世呵！我们的1996年春节过得不平凡！"

1997年，当钱老获悉中国农业发展银行要用专项贷款支持沙产业发展时，他又想到怎么样用好这笔钱，这就需要有高素质的人才。所以他又就人才培养问题给刘恕同志写信说："现在沙产业有了农业发展银行的专项贷款，问题是要有人才去高效地利用资金开发沙产业——沙工贸一条龙地经

营。这是当务之急了。基金会能在培养沙产业人才方面做点工作吗?此意请考虑。”刘恕等同志完全赞同钱老的意见,并立即着手教材的编写工作,开展沙产业人才的培训。最近,当钱老听说《推广沙产业技术指南》一书初稿已拟就时,感到十分欣慰。

四、水是沙漠戈壁中搞绿色农业即沙产业的一个关键问题,而沙漠中缺水,所以必须搞节水农业。也可以说沙产业必须是节水型的农产业。所以钱老特别重视以色列等国的经验,并建议有关同志要到以色列去考察,到北京通县中以示范农场去参观。他深知中国水资源十分缺乏,而农业用水效益又低,浪费很大。但水的问题涉及水利、农业、林业、环保等许多部门,所以是一项复杂的社会系统工程。为此,他曾对宋健同志说:“水在中国是件大事,我觉得分四个方面:第一叫治水,包括现在说的水利工程,也包括污水的处理等。不管是治洪、防涝,还是防治污染,科学方法、技术都是成熟的。昨天我看报纸报道河南省宁陵酒精厂就是一个例子,他们把酿酒排出的污水利用起来,产生沼气,而沼气又用来供给全市作燃料。所以这里面是大有可为的,但这样的技术由于各种原因推广不开。第二是节水,我们现在的灌溉技术对水的浪费很大。据说采取节水措施以后,只需现在用水的一半或三分之一,就可以达到同样的效果。这样一来,水的危机就可以大大地缓解了。第三是调水,就是大范围的调水,这不用说您都清楚。第四叫造水,我指的是海水淡化。我认为通过治水、节水、调水、造水,中国水的问题是可以根本解决的。当然,问题是涉及的部门太多,难点和困难就在于此。所以光议论,总是各说各的,找不出一个总体的办法。”他并建议宋健国务委员亲自抓抓这件事,他说:“您抓了‘夏商周断代工程’,给我启示,而且您还是国务院环境保护委员会主任,是系统科学、系统工程专家,所以我国水的问题应该请您来抓总,从全局的高度汇集社会科学、自然科学和工程技术方面的人来研究。可不可以设想,到2000年提出一个‘水建设在中国’的思路和总体设想?”当他看到《人民日报》1997年11月3日第10版用整版的篇幅报道节水灌溉事业时非常高兴,说现在节水灌溉引起了各方面重视,是大好事。我们提倡的沙产业就是节水型农业,我们要带好这个头。

(原载《步入实践的沙产业》,中国环境科学出版社,1998年)

钱学森的建筑科学观

1996年,85岁高龄的钱学森提出:建筑是科学和艺术的结合,因而建筑科学不同于其他任何科学部门,应该独立出来,成为一门单独的学科。

这就是钱学森的建筑科学观。它是钱老晚年的一个重要学术思想,是钱老站在整个科学技术体系的高度,俯视建筑科学得出的关于建筑科学本质特征的概括。联系到钱老多年来关于现代科学技术体系的论述,关于科学的艺术与艺术的科学的辩证观,以及关于城市学与山水城市等概念的提出和倡导等,使我们可以理解钱学森的建筑科学观的理论与实践意义。

一

现代科学技术体系是钱学森晚年提出的一个重要学术思想,是钱老将系统科学观点用于科学学研究的一个重要理论成果。

早在50年代中期,钱学森刚刚回国不久,就提出技术科学的概念。他当时就认为,在自然科学中,除了物理、化学、生物等这样一些理论性基础学科和工程技术之外,在理论学科和工程技术之间,还应该有中间层次的学科,那就是技术科学。他本人所从事的力学,或者称应用力学,就是一门中间层次的技术科学。正是他,首先提出在自然科学中有“三个层次”的观点,这“三个层次”即基础理论、技术科学和工程技术。

70年代末80年代初,钱学森进一步发展了技术科学的概念,他认为,社会科学、数学科学、系统科学和人体科学等这样一些大的科学部门都有三个层次,正是由于这一共同的特点,不同的科学技术部门构成了一个互相联系、纵横交织的体系,这就是现代科学技术体系。

钱学森现代科学技术体系的另一个特点是马克思主义哲学处于这个体系的顶层。这样的结构,反映出马克思主义哲学与各门科学的关系,即马克思主义哲学指导各门科学的研究,而各门科学研究的成果反过来又会进一



步发展马克思主义哲学。钱学森科学技术体系的创新还在于，马克思主义哲学和各门科学技术的这一辩证关系不是抽象的，而是通过具体的“桥梁”联系起来的，即自然科学通往马克思主义哲学的桥梁是自然辩证法；社会科学的桥梁是唯物史观；数学科学的桥梁是数学哲学；系统科学的桥梁是系统论；思维科学的桥梁是认识论；人体科学的桥梁是人天观等等。

这就是钱学森最初提出的现代科学技术体系的一个指导（马克思主义哲学）、六大部门（每个部门都分三个层次）和六座桥梁。

钱学森现代科学技术体系的再一个特点是开放性。这一开放性体现在两个方面：一是其科学部门的组成是开放的。1982 年，钱老第一次全面阐述他关于现代科学的结构问题时，只说到上述的六大部门。后来他的认识不断地发展和深化，到现在，包括建筑科学在内，已发展到十一个大的科学部门，增加了地理科学、军事科学、行为科学、文学艺术、建筑科学。开放性的第二个方面是在这个体系的外围，是人们的实践经验，这些经验也是十分宝贵的知识，但尚未上升到理论的高度，还不能称其为科学。但是，随着人们认识的深化，这些经验知识会不断进入科学体系，也许还会出现一些新的科学部门。

二

按照一般的认识，建筑是一门自然科学工程技术。但是钱老认为，把建筑放在自然科学这一部门之内不尽合理，因为建筑不光是个科学问题，还是一门艺术。从本质上说它应是科学和艺术的结合，因面有其特殊的规律，应该独立出来，成为与自然科学、社会科学等平起平坐的一个大的科学部门。

钱学森提出建筑是科学和艺术的结合这一重要论断，是有其历史渊源的。

作为一位对科学技术曾经做出过重大贡献的著名科学家，钱学森对文学艺术一直有着浓厚的兴趣和很深的修养，他对文艺理论（包括美学）、音乐、诗歌、绘画、书法、园林花卉和工艺美术等广泛的文学艺术领域发表过许多独到见解。并认为，科学和艺术有密切的关系，他本人的科学研究就常常从艺术中获得灵感。他在这方面的有关论述曾汇集成册，于 1994 年编辑成



书，钱老亲自把书名定为《科学的艺术与艺术的科学》。这是钱老晚年学术思想的一个重要方面，也是他总结自己从事科学研究心得的一个重要结晶。由此可见，到1996年钱学森提出建筑是科学和艺术的结合这一著名论断就不足为奇了。

三

建筑是一门古老而又年轻的科学，它涉及许多学科，并出现了许多分支：建筑美学、建筑力学、建筑工程学、土木工程学、建筑园林学、城市规划学等等。当然，由于对建筑的理解、思路、观念和视角的不同，又形成了许多学派。总之，在今天，我们可以说，建筑是一门包括许多学科和许多学派的一门大的科学技术部门。既然建筑科学在现代科学技术体系中是和自然科学、社会科学等等平起平坐的一个大的科学技术部门，那么，我们就应该对建筑科学作系统地思考，分析各门学科之间的关系，这就是建筑科学的层次应该如何划分？哪些是属于基础科学层次，哪些属技术科学层次，而哪些又属工程技术层次？同时，建筑科学的发展当然也要接受马克思主义哲学的指导，这就是建筑科学通向马克思主义哲学的桥梁，即建筑哲学，它的具体内涵又是什么？这些问题是需要建筑学家们来具体回答的。

当然，钱老作为一位宏观思维的大科学家，也在不断思考这些问题。钱学森在建筑科学上的系统思考，首先就反映在他不是孤立地看待建筑，他总是把建筑和其周围的环境联系起来思考，把建筑和整个城市建设和规划联系起来，这也就是钱老后来提出城市学和山水城市概念的基本思路。1983年，全国举办第一期市长研究班，主办者原想请钱老给大家讲讲系统工程，但钱老却未单纯讲系统工程，而是用系统工程的观点，联系到城市规划和城市建设问题，考虑到我国建筑的历史特点和风格，讲园林艺术问题。其实，钱老关于“山水城市”的概念已孕育其中。到1985年他又提出了建立城市学的设想。90年代初，受北京市在旧城改造中将菊儿胡同建成新式“楼房四合院”的启发，钱老在给吴良镛教授的信中，第一次建议将中国的山水诗词、山水画和古典园林建筑融合在一起，创立中国独特的“山水城市”概念。从那时到现在，钱老不断和建筑专家们探讨中国城市建设的理论问题，讨论

建筑科学的学科发展问题。直到去年，钱老还在给搞城市学的鲍世行和搞建筑学的顾孟潮两位同志写信，他在信中提出，在建筑科学这一大部门中，城市科学属宏观层次的学问，而目前人们通常说的建筑学属微观层次的学问。他并建议，"城市科学"又可称为"宏观建筑"(Macro Architecture)，而现在通称的"建筑"，实是"微观建筑"(Micro Architecture)。

四

最后，钱老要我特别说明的是，他虽然在建筑科学问题上发表了许多独到见解，但他曾多次说明，在建筑科学上他是个"小兄弟"，他之所以能得出这些看法，是不断向从事建筑科学和城市学的专家们学习、讨论的结果。

同各个学科的专家们开展学术讨论，是钱学森同志一贯的学风。他倡导学术民主，主张在学术讨论中大家一律平等，不管你是专家、权威，还是一名普通研究生，都有权充分发表自己的意见，开展民主讨论，甚至争论，最后大家服从真理，而不能屈从于权威。钱老自己在美国留学作研究生时，就曾多次向大权威们挑战，提出自己的不同看法。使钱学森深受教益、终生不忘的是他的老师冯·卡门教授，他在一个学术问题上和钱学森发生了争论，由于他的学生毫不客气，坚持自己的见解，冯·卡门气得把钱学森的论文丢到地上，拂袖而去。但他事后冷静一想，在那个问题上钱学森是对的，他错了。于是第二天他亲自找到钱学森的办公室，并恭恭敬敬地行个礼，说："钱，昨天的争论你是对的，我错了。"这是何等的胸怀！钱学森从此牢记老师的典范，坚持在学术讨论中不论什么学术地位，都要充分发扬民主，大家一律平等。这就是钱学森 1996 年 6 月 4 日会见《钱学森论城市学与山水城市》一书的主编鲍世行、顾孟潮和该书的责任编辑吴小亚同志时，谈话的主题是"哲学·建筑科学·学术民主"的道理。

（原载《长江建设》1999 年 2 期，总第 24 期）



钱学森:共和国的功勋

钱学森是我国著名科学家,他对我国导弹航天事业作出过杰出的贡献。但钱老一贯反对别人说他是什么"导弹之父"或"航天之父"之类的话。他说:"说这种话的人都不了解我们的导弹是怎么搞成功的,卫星是怎样上天的。那不是一两个人的功劳,而是一项成千上万人的事业。"至于说到个人,钱老说:"我只是恰逢其时,做了我该做的工作。"那么,钱学森在我国导弹航天事业中做过些什么呢?笔者不可能在这篇短文中全面评价他的功绩,仅以钱学森在导弹航天事业中的几件事奉献给广大读者。

导弹的决策

一般人都知道,钱学森回国不久,在东北参观哈尔滨军事工程学院时,院长陈赓大将征询他中国人搞导弹行不行时回答的一句话,即"外国人能干的,中国人为什么不能干,难道中国人比外国人矮一截!"似乎这句话一锤定音,由此中国领导人下决心搞导弹。其实问题并非如此简单。

首先是早在1955~1956年,苏联、美国的人造卫星并没有上天,洲际导弹技术在国外也没有突破。所以当时对于导弹究竟能不能成为一项重要的国防技术,大多数人并没有明确的认识,许多人甚至不知道导弹是怎么回事。大家有比较明确认识的倒是飞机。所以当时一个主要的争论是,我国的国防究竟是应该首先发展飞机,还是发展导弹?此一争论在制订12年科学规划时摆到了桌面上,而且当时多数人倾向于先搞飞机。

钱学森认为,飞机的重要性自不待言,而导弹确实是一种新的有巨大威胁力的武器,其作用在二次大战末期已现端倪,希特勒德国就使用了V-1、V-2导弹。与飞机相比,导弹的优点是它的速度快,在战争中无论是从攻击还是从防御的角度看,都是一个重要的战术技术性能。另一方面他又从技术上指出,攻克火箭导弹技术并不见得比飞机更难,因为导弹是无人驾驶的

一次性武器，而飞机则有人驾驶，且要求多次使用，这在发动机、结构、材料和飞行安全等问题上都有许多特殊的要求。他给大家介绍说，发展导弹在技术上也会遇到许多难关，比如制导问题。这也是当时大家不知道导弹为什么会自动飞向目标的一个神秘问题。针对这一情况，钱学森给大家讲解了许多制导的原理，其中包括洲际导弹的制导原理。他对制导技术进行了剖析，并由此得出结论说，这个问题在短期内易于突破。钱学森还专门指出，他这么说并不是否定飞机的重要性。事实上，这两种武器在战争中是相辅相成，缺一不可的。所以导弹作为一种现代武器，应及早引起人们的重视，并列入重点项目予以突破。钱学森的这一具有真知灼见的分析，自然为很多人所接受，并统一了大家对导弹问题的认识。在军队方面，钱学森亲自给我军高级将领作报告，讲解火箭导弹知识，分析导弹在未来战争中的作用。他的讲课深入浅出，形象生动，使许多科学知识不多的老将军都听得津津有味，并对这一尖端武器产生了莫大的兴趣。

导弹的发展

起初苏联愿意提供帮助，所以我们一开始是搞仿制。但是不久苏联中止了援助，我们只好由仿制转入自行研制。通过仿制练兵到搞出自己的导弹，在我们初步掌握了导弹技术以后，下一步怎么发展？这个问题就摆在了中国科学家面前。这时钱学森又重点抓了我国地对地导弹发展规划问题。从 1964 年到 1965 年，七机部发动了科研、设计、生产、使用部门的工人、科技人员和领导干部 3000 多人，参加规划方案的大讨论。钱学森按照周恩来总理、聂荣臻元帅的办法，充分发扬技术民主，听取各方面的意见。当时世界上也就有美苏两家先例，美国人走的是大推力发动机的路子，而苏联走的是捆绑的路子。我国地地弹的发展道路是什么？对此，也有许多意见和争论。钱学森在讨论中坚持从我国的国情出发，独立思考，走自己的路。经过将近一年的讨论，在充分发扬民主的基础上，集中大家的智慧，在 1965 年制订了“1965～1972 年我国火箭技术发展途径的意见”，即所谓“8 年 4 弹”规划，这一计划后因文化大革命的干扰遭破坏，未能按时实现，但却规划了我国火箭导弹事业从中近程—中程—远程—洲际这样一种科学的发展蓝图。



这四种基本型号导弹的研制，一步一个台阶，为我国导弹航天事业及其长远发展奠定了坚实的基础。

火箭导弹技术的攻关

火箭导弹是一项复杂的系统工程，它涉及许多学科领域，有成千上万的人参与。而钱学森正好是一位知识渊博的科学家，他早年在美国读研究生时就奠定了深厚的数理基础，又在四十年代初亲自参与过美国早期的导弹研制工程，由这样一位既有丰富的理论知识，又有一定的实践经验的人在技术上领导新中国的火箭导弹事业是再合适不过的了。钱老曾说："我干这个事情与核武器领域不一样，他们真可以说是白手起家，而我在美国还搞过一点导弹，知道问题的关键在什么地方。"钱老在美国积累的导弹理论知识和工程经验，对于我国攻克导弹技术难关，发挥了不可替代的作用。由于一开始大家都没有经验，甚至是边学边干，所以必然对钱院长寄予厚望，哪里遇到技术难关，都希望钱院长给予指点。

在东风-3号发动机地面试车过程中，不断发生故障。今天试车，这个地方出问题，科技人员经过努力解决了；下次试车，另一个地方又出问题；再下次试车，又有新的问题发生……出现的问题一个一个被解决，新的问题又不断发生。在这种情况下，钱学森来到试车台，他在细心观察故障情况并听取汇报以后，思之良久，最后提出，我们不能总是让故障牵着走，大家是不是回过头来想想有什么根本问题在影响着发动机的燃烧稳定性？是不是应该考虑高频振荡问题？他的话启示了在场的科技人员。在考虑了高频振荡所产生的影响以后，改进了发动机的设计，从此，东风-3号发动机的试车顺利过关。1966年6月下旬，第一颗人造卫星的运载火箭"长征-1号"为解决滑行段喷管控制问题而进行的滑行段晃动半实物仿真试验中，出现了晃动幅值达几十米的异常现象。钱学森亲临现场，在讨论中认定：此现象在近于失重状态下产生，原晃动模型已不成立，那时流体已呈粉末状态，晃动力很小，不影响飞行。他的这一大胆地分析，使大家悬着的心落了地。后来多次飞行试验证明，这个结论是正确的。

导弹航天属高科技，技术问题常常是非常复杂的，而在初创阶段我们又

缺乏经验，对于一些技术难题在意见纷争的情况下，往往难于决策。由于当时钱学森是技术负责人，所以一些棘手问题常常提到他的面前，这就需要决策者不仅要有渊博的学识，而且也要有一定的胆识。钱老回忆说，六十年代，在基地的一次导弹试验中，因在加泄推进剂时操作有误，出现了一个大问题，即弹体瘪进去一块。在场的人看了都十分紧张，认为这是一个大故障，导弹不能发射。钱学森听完汇报，亲自爬到发射架上，察看故障情况后，认为箱体的变形并未达到结构损伤的程度。于是他结合自己过去在美国所做壳体研究工作的情况，认为这是由于试加推进剂后，泄出时忘了开通气阀造成箱内真空，外面空气压力大，压瘪的。点火发射后，箱内要充气，弹体内压力会升高，壳体就会恢复原来的形状，所以他主张发射照常进行。钱学森的这一科学分析虽然很有道理，但他的决策仍有很大风险，许多人表示担心。负责发射指挥的基地司令员甚至拒绝在给中央的报告上签字。最后这份由钱学森一人署名的报告送到北京以后，聂荣臻元帅批准了钱学森的意见，结果如他所料，这次发射取得了成功。

人生的楷模

这是老一代航天人留给我们的宝贵精神财富，而钱学森则是他们中间的一位杰出代表。钱学森最为敬佩的是周恩来总理、聂荣臻元帅的民主作风，他认为，民主集中制的科学管理是“两弹一星”事业取得成功的一条重要经验。他在五院和七机部担任技术领导人期间，就是按照民主集中制的办法，每个星期日下午，将几位总工程师请到家去，研究讨论重大技术问题。钱老说：“在这种场合，我就按周恩来总理的办法，先请每位老总充分发表自己的意见，然后展开讨论。对于意见一致的问题，那好说，就这么办。不一致的，则先由我集中，提出解决办法，并按我说的办；如在实践中遇到办不通的地方，下次开会提出来，重新研究。当然，我拍板的问题由我负责，成功了，功劳是大家的；出了问题，则由我承担责任。这样做大家都心情舒畅，能畅所欲言，所以我们当年是集大家的智慧，集体攻关的。”

钱学森不仅能听取老专家的意见，对于年轻人的大胆倡议，只要是科学的，他也积极支持。钱学森说，有一次在基地做导弹的全程试验，开始时发



现,这次试验可能达不到预定的射程。这时一分院一位叫王永志的年轻人,向钱学森提出了一个大胆的设想:泄掉一部分推进剂,这和一般的思路正好相反。但王永志坚持说,他经过计算,认为泄掉一部分推进剂,可以减轻导弹的起飞重量,反而能增加射程,达到设计要求。钱学森听后认为这位年轻人说得有道理,于是他在现场大胆决定:按王永志的意见办。结果这次试验达到了预期的目的。

钱学森在工作上严谨细致,平易近人,生活上也处处严格要求自己,从不以"大科学家"自居。在3年自然灾害生活困难时期,钱学森和大家一样,常常在食堂排队,吃着他自己的那一份定量。

这就是一位科学家的人生态度。1949年10月1日中华人民共和国成立后,他甘心情愿地放弃国外的优厚待遇,克服重重困难,回到祖国,和人民同呼吸,共患难,一心想的只是为了报效祖国。1991年,钱学森被授予"国家杰出贡献科学家"称号。

(原载《时代潮》1999年10期)

要以农业发展为基础

——钱学森对西部开发的思考

在西部广袤的戈壁沙漠上，不仅升起过令中华民族扬眉吐气的蘑菇云，也留下了科学家们对我们民族长远发展的深邃思考。“世界环境日”前夕，我们走访了国家杰出贡献科学家钱学森同志，他的许多独到的见解足可以使人茅塞顿开。

钱学森说，我过去在搞“两弹一星”试验时常去西北地区（包括甘肃、新疆、内蒙古等），对那里的自然条件、生态环境、经济发展和人民生活的状况是了解的。据我所知，解放后西部地区曾有过两次大的建设，一次是50年代，苏联援建156个项目时，有些重大项目建在西部和西北地区；另一次是60～70年代的三线建设。这两次建设无论从资金的投入，还是从科技的含量和人才的荟萃等方面来看，其水平和力度都是相当可观的。这些建设虽然推动了西部的发展，但并未从根本上改变西部地区的落后状况。究其原因，我认为是这些建设并未和西部的经济基础，即农业的发展结合起来。所以，其结果是少数工业项目上去了，但广大农村和广大人民仍然是贫穷落后的。所以我感到，西部的开发虽然是全面的、综合的，但仍然要以农业的发展为基础。只有这样，才能从根本上改变西部地区的贫穷落后状态，也才能改变西部地区的生态环境。

怎样才能使西北地区的农业走出困境？钱学森说，西北地区是大片的戈壁沙漠，大约有16亿亩，和我国农田面积差不多。戈壁沙漠干旱少雨，但干旱少雨的另一面是阳光充沛。这是西北地区农业发展的不利和有利条件。问题是我们过去对不利条件看得重，故侧重于“治理”，搞植树防沙、堵沙等。这是对的，也有成绩，但有点消极。对阳光充沛这样的有利条件，则没有注意从积极的方面去利用和开发。

早在1984年8月20日，钱学森就公开发表了《创建农业型的知识密集



产业——农业、林业、草业、海业和沙业》一文。这篇文章的发表，突破了传统农业的思路，开拓了人们的视野，也奠定了钱老16年来孜孜以求的沙产业的理论基础。1994年9月27日，钱学森积极倡导成立了“中国科学技术发展基金会促进沙产业基金”，用于支持沙产业理论研究、扶持沙产业实体、培养专业人才等方面的工作。

“什么是沙产业？”钱老解释说，沙产业就是在“不毛之地”的戈壁沙漠上搞农业生产，充分利用戈壁滩上的日照和温差等有利条件，推广使用节水技术，搞知识密集型的现代化农业。这是完全可能的。以色列比我国西北地区的自然条件更恶劣，但他们在沙漠上开发了现代化的农业，经济效益十分可观。我国甘肃省张掖地区从1994年开始试搞沙产业，在实践中创造了“多采光，少用水，新技术，高效益”的沙产业技术路线，并取得很大成绩，粮食自给有余，蔬菜瓜果东运销售并出口，还带动了一批加工企业的发展。我们在西部开发中，首先要转变关于西部沙漠的思维定势，看到沙漠上也有搞农业的有利条件。所以不仅是“治理”，更重要的是“开发”，将治理蕴含于开发之中，这就是我提出开发沙产业的指导思想。张掖地区的一套经验和做法如果推广到整个西北地区，其前景将是非常可观的。

面对西部大开发的历史机遇，钱老兴奋地说，我们在21世纪实施西部大开发战略，自然起点要高。所以我提出的农产业、林产业、沙产业和草产业，都强调是知识密集型的，要把现代科学技术，包括生物技术、信息技术都用上。而且一开始就搞产业化，形成生产、加工和销售一条龙，并注意综合利用。这种高技术产业化的农业，实际上已和工业及经贸、服务等第三产业结合起来了，所以可以做到对农业生产实行工厂化管理。由此发展起来的小城镇，已大大缩小了工农之间以及城乡之间的差距。这样的任务当然是长期而又艰巨的，可能要经历几代人的努力。但“两弹一星”的实践使我深信，在中国共产党的坚强领导下，依靠广大人民群众，包括科学家和工程技术人员，我们一定能够克服各种困难，用“两弹一星”精神和经验，把祖国的西部建设成繁荣昌盛的家园。

（原载《人民日报》2000年6月5日第五版，与贾西平合作撰写）

钱学森对城市学的研究

钱学森对城市学的研究具有如下特点。

1. 强调理论探索的重要性。钱学森在《关于建立城市学的设想》一文中，开宗明义地讲道：我觉得要解决当前复杂的城市问题，首先得明确一个指导思想——理论。因为按照马克思主义原理，实践是要在理论指导下，理论要联系实际。但必须有理论。

2. 强调了必须用马克思主义的哲学来指导城市学的研究，也就是要用辩证唯物主义与历史唯物主义的观点来看待城市中的问题。把城市看作变与不变的统一，就是一方面随着科学技术的发展、生产力的发展和社会的发展，城市一定要成长发展；另一方面，城市的功能又是比较稳定的，也就是要建立功能稳定与迅速发展相统一的理论。

3. 强调要用系统科学的观点来研究城市，把现代城市看作是开放的复杂巨系统。所谓“开放的”（是对相对封闭系统而言）就是系统本身与系统周围的环境有物质的交换、能量的交换和信息的交换；所谓“巨系统”是指系统包含很多子系统；有自然系统和人造系统，有动态系统和静态系统，有生命系统和非生命系统等等。还有，就是开放的复杂巨系统有许多层次，新的研究城市的方法，要用从定性到定量综合集成的方法。

4. 钱学森十分关注重视研究城市发展中出现的新事物和新问题。例如，他建议的关于“轿车文明”的讨论，和关于“立交桥是现代城市一景”的讨论都是针对当前城市发展中出现的新事物而提出的。

钱学森还十分重视，从实践中不断总结经验来提高认识和深化马克思主义。例如，谈到回顾总结建国以来建设新工业城市的经验时，他说：现在我们要认真总结那些拔地而起、从无到有地建设一座工业城市的经验，这是城市科学的重要内容。他认为，正是这些经验“反回来可以充实与深化马克思主义哲学”。

5. 钱学森不仅重视国内城市发展中的经验，同时也十分重视外国的经



验,他向我们推荐巴西东南的 200 万人口的库里巴蒂,正是为了"要走出一条中国自己的城市建设道路来"。

6. 钱学森不仅重视经验的总结,还重视对未来的探索。他指出:我觉得,我们今天研究城市学必须看到今天生产力的发展,而且为了搞好规划,还不能够光看到今天生产力的发展,还要看到现在的科学革命、技术革命会导致什么样的生产力的发展,也就是说看看这些发展到 21 世纪将会如何?由于通讯技术与交通运输技术的发展,人的聚集会达到什么程度?人聚集在一起是为了信息传递和物质运输的方便,但由于通讯技术与交通运输技术的发展,这些情况是否会有所变化。

(原载《中国建设报》2001 年 5 月 25 日第四版,与鲍世行、顾孟潮合作撰写)

钱学森:两次高额党费

钱学森是我国杰出的科学家,航天科学的奠基人之一。1955 年,他毅然放弃国外优厚待遇,冲破重重阻碍回到祖国,为新中国的科技事业、航天事业和国防建设作出了开创性的贡献,被党中央、国务院、中央军委授予"两弹一星"功勋奖章和"国家杰出贡献科学家"荣誉称号。1959 年加入中国共产党的钱学森,与党的事业休戚与共近半个世纪。在建党 80 周年之际,作为多年来在钱老身边的工作人员,回想钱老情系党的事业的一些"小事",其中,钱学森几次交党费的情景更是令人难忘。

按时缴纳党费是每个共产党员的基本义务,钱学森自不例外。但是,在钱学森同志几十年的党员生涯中,关于交党费问题,有两件事值得记述。

一件事是 1963 年,钱学森著《物理力学讲义》和《星际航行概论》,由科学出版社出版。这是两本科学巨著,稿酬自然不少,有好几千元。这在当时,即使够不上"天文数字",也是一笔相当巨大的收入,甚至是一般人做梦都不敢想的数目。那时还处在"三年经济困难时期",若能得到 10 元 20 元的额外收入,用来吃两顿饱饭,那已是莫大的享受。钱学森及其家人自然和全国人民一样,也是勒紧裤带过日子。但是,这么一大笔钱并没有使钱学森动心。当他拿到这笔稿费时,连钱包都没打开,转手就作为党费,交给了党小组长。他知道,这个时期国家困难,党困难,人民困难,他要和国家、和党、和人民共患难。

第二件事发生在 1978 年。当时"文化大革命"刚刚结束,开始落实各方面的政策。钱学森的父亲钱均夫老先生上世纪 50 年代受聘于中央文史研究院(简称文史馆),1969 年去世。但因"文化大革命"的冲击,从 1966 年起就不发工资了。所以,钱老先生在去世前三年未领到一分钱工资。到 1978 年落实政策时,给钱均夫老先生补发了 3 000 多元的工资。然而,钱老先生已经过世,钱学森作为钱均夫惟一的儿子,自然有权继承这笔报酬。但是钱学森认为,父亲已去世多年,这笔钱他不能要。退给文史馆,人家拒收。怎



么办？钱老说，那我只有作为党费交给组织。所以这3000多元也交了党费。

顺便提一下，据我所知，钱学森著《工程控制论》1958年中文版的稿费，捐给了中国科技大学力学系，资助贫困学生买书和学习用具；1982年钱学森等著《论系统工程》一书，钱学森本人所获稿费捐给了系统工程研究小组；钱学森1994年所获何梁何利基金优秀奖100万港元，捐给了促进沙产业发展基金。这些捐赠虽与党费无关，但也体现了钱老一生情系党的事业的胸怀。

（原载《文汇报》2001年6月17日第一版）

人民科学家钱学森的精神风采

钱学森是我国著名的科学家。1991年，在授予他"国家杰出贡献科学家"荣誉称号时，国务院、中央军委的命令是这样评价钱学森的成就和人品的："钱学森同志是我国著名科学家。他早年在空气动力学、航空工程、喷气推进、工程控制论等技术科学领域做出过许多开创性的贡献。1955年9月，在毛泽东、周恩来等老一辈无产阶级革命家的关怀下，他冲破重重阻力，离开美国回到社会主义祖国。1959年8月，他光荣地加入了中国共产党。数十年来，他以对祖国、对人民的无限热爱和忠诚，满腔热忱地投身于我国国防科研事业，为我国火箭、导弹和航天事业的创建与发展做出了卓越的贡献。他潜心研究的工程控制论，发展成为系统工程理论，并广泛地运用于军事运筹、农业、林业，乃至整个社会经济各个领域的实践活动，在我国现代化建设中发挥了重要作用。在发展系统工程理论与实践方面，是我国科技界公认的倡导人。他一贯努力学习马克思列宁主义、毛泽东思想，坚持运用马克思主义哲学理论指导科学活动。他热爱中国共产党，热爱社会主义祖国，热爱人民，充分体现了新中国知识分子的高尚品德，他是我国爱国知识分子的杰出典范。"

一、严肃认真，严谨细致，一丝不苟是钱学森一贯的作风

这也可以说是科学家们的共同特点。钱老治学的严谨作风，从山西教育出版社2000年出版的《钱学森手稿》(1938～1955)一书中可见一斑。比如钱老做火箭发动机燃烧室不稳定燃烧问题研究时，其数据计算得非常精细，有的长达8位。要知道，这样繁重的计算在当时是靠拉计算尺得出的，到后来才有一台手摇电动计算器。其工作之认真艰辛，不言而喻。从钱老的手稿可以看出，他做学问总是一丝不苟，公式推导十分严谨，列表制图极为规范。他的字写得工整、清秀，很少出现差错，即使有修改，那也是改得清



清楚楚，一目了然。

钱学森的认真精神，也有他的特点，那就是他认真起来，毫不讲情面。因为他认为，科学是来不得半点虚假的。在我国"两弹一星"事业中，周总理提出"三高"标准，即"高度的政治思想性，高度的科学计划性和高度的组织纪律性"。以及"严肃认真，周到细致，稳妥可靠，万无一失"的要求。钱学森在领导我国导弹航天事业中，总是严格按照周总理的要求办事，从不放过试验中的任何一点差错。他主持国防部五院的技术工作，在总结"东风-2 号"第一发的经验教训时提出"把放障消灭在地面"的原则，它已成为一代航天人研制和试验工作的行为规范。所以每次试验，对测试中出现的任何一个疑点，他都要打破沙锅问到底，紧追不放，一直到真正把问题搞清楚，把故障排除，或对出现的异常现象作出科学的、有试验根据的合理解释他才肯罢休。当年在基地搞试验的一位老同志说，在一次发射前的测试中，他向钱老汇报氧化剂的加注活门有点漏气。钱老立即问："有多大点漏气，你们测试过没有？"答："没有"。于是钱老严肃地说："你马上回去测，测试清楚了再向我汇报"。经过测试，每分钟一个小气泡，这个指标在允许的范围之内。于是再去向钱老汇报，他才点头认可。类似的事在当时的研制和发射试验中是很多的，他当年在基地一呆就是一两个月，大大小小的事情他都得过问。在钱老的《工作手册》中，每次试验他都有详细记录，甚至把大大小小的异常或故障列出表格，一一落实解决。对已经解决的问题，他注上："已换"，或"已重新调试，可用等"。尚未解决或落实的问题，他在表格中用红笔作个"*"号，并注明已指定谁协调解决。

由于钱学森的严肃认真，严谨细致，一丝不苟的作风，他带动和培养了一大批人，周总理提出的"三高"标准，成为一代航天人的优良传统和作风。所以在那个时代，虽然我们的技术条件比美国、苏联落后很多，但我们的成功率却比他们高得多。

二、坚决抵制不正之风

作为一名严肃的科学家，钱学森对社会上的一些不正之风，采取坚决抵制的态度。



第一,关于"走后门"问题。一段时间,社会上到处存在"走后门"现象,走正道办不成事,一定要走后门才能办成。钱学森自然不会去走后门,同时他也不许别人在他这里走后门。他对许多事情,定下一个原则,然后就坚持这个原则,对谁也不开先例。比方说他"不题词;不为别人的书写序;不参加任何成果鉴定会;不出席应景活动(如开幕式,剪彩等);不出国访问;甚至退出一线工作以后,不到外地开会,连天津也不去。"这些原则一旦定下来,几十年不变,对谁也不开先例,绝不讲情面。多年来,许多人为这些事找到我,我只能按照钱老规定的原则,婉言谢绝。在我这里办不通,于是有些人想方设法,找到钱老的夫人或子女,想走他们的"后门"。但这个"后门"是走不通的,钱老的夫人蒋英同志又把来信或来函转给我,还是由我答复他们。

第二,关于反对"吃喝风"问题。钱学森哪怕是在北京开会,从来都是回家吃饭,决不借开会之机大吃大喝。他过去在一线工作,需要到外地出差,如去试验基地主持试验,或到外地开现场协调会等等。自从他退出一线领导职务以后,再也不去外地开会或做学术报告,谁请也不去,决不搞公费旅游。他这一生,只在 1988 年夏天,带中国科协的几位副主席到黑龙江的镜泊湖去休过一次假。在黑龙江省,他参观了一些工业项目,也作过几次学术报告。在这种情况下,人家请顿饭吃是免不了的,他也不得不应酬。但我看得出,钱老对于这些应酬活动是很反感的。所以他回到北京以后就对我说:"我对付这种不正之风的办法,就是今后再也不出北京了,谁请也不去"。

一些人正面请,请不动,于是有人又想出一个"激将法",通过一位与钱老很熟悉的老朋友对他说:"钱老,你知不知道,别人对你有反映"。钱老问:"什么反映?""说你架子大,请不动"。钱老说:"你别激我,激也没用,他们说我架子大,我就架子大。"

第三,关于"出国风"。大家知道,改革开放不久,群众反映比较大的另一个问题是"出国风"。钱学森回国以后,就出过两次国,一次是 20 世纪 50 年代陪聂老总访问苏联,第二次是 80 年代率中国科协代表团出访英国、德国。这都是工作访问,是推不掉的。除此之外,他再没出过国,特别是再没去过美国。

说到钱老回国以后再没去过美国,我要在此加以说明。改革开放以后,中美之间的交流增多了,钱学森这么著名的科学家,邀请他出国访问的单位



或个人也不少，其中美国方面的邀请最多，但都被他拒绝了。当时的总书记胡耀邦还劝过他。一次开科学技术大会，他就坐在胡的旁边。胡耀邦对他说："钱老，你在国际上影响很大，一些国家邀请你，我建议你还是接受邀请，出去走走。你出去和别人不一样，对推动中外科技交流会有很大影响。这也是今天改革开放的需要啊！今天，世界在变，中国在变，美国也在变。几十年前的事，过去了就算了，不必老记在心上。你去美国走走，对推动中美间的科学技术交流，甚至推动中美关系的发展都会有积极意义"。听了胡耀邦这一番话，钱老说："总书记，当年我回国的事很复杂，在目前这种情况下我不宜出访美国"。胡只好说："钱老，我这是劝你，不是命令你一定要去。如果你认为不便去，我们尊重你个人的意见"。后来，美国当局的代表曾和我有关方面谈钱学森的事。他的意思大致如下："钱是一位著名科学家，他曾在美国工作了很长时间，特别是第二次世界大战期间和战后一段时间，钱对美国的科学技术是作出了很大贡献的。50年代初的麦卡锡时代，是美国历史上的一段黑暗时期，许多正直的美国科学家也无端地受到迫害，所以那一段时间美国政府那样对待钱是很不公正的，我查过当时的档案，我这么评价是有根据的"。于是他和中方探讨，美国政府能做些什么，来弥补从前在这个问题上的过失。他说，他和美国科学院、美国工程院讨论过钱在美国的工作，如果钱来美国，授予他美国科学院院士和美国工程院院士的称号是没有问题的。考虑到钱的老师冯·卡门曾获美国政府颁发的最高科学成就奖。钱是卡门最得意的学生，美国政府也可以授予他这一荣誉。这种授奖仪式一般都在白宫举行。如果钱来美国接受这项荣誉，我不能保证总统一定出席，但我可以保证，至少副总统一定会出席，并亲自给钱颁奖。

钱老接到这个报告以后说："这是美国佬耍滑头，我不会上当，当年我离开美国，是被驱逐(deport)出境的，按美国法律规定，我是不能再去美国的。美国政府如果不公开给我平反，今生今世绝不再踏上美国国土"。所以，美国人给他再高的荣誉，钱学森不稀罕。钱老说，如果中国人民说我钱学森为国家，为民族做了点事，那就是最高的奖赏，我不稀罕那些外国荣誉头衔！

第四，绝不上任何"名人录"、"名人大典"等等之类的书。现在搞的一些"名人录"之类的大典，名堂很多，一般人想上名人录，出点钱就行。但钱学森若上什么名人录，人家是不会找他要钱的。但他知道这里面的"名堂"，所

以给我交代一条原则:绝不上任何名人录。他说:"我抵制这股不正之风的办法就是我不上,不要钱也不上"。90年代初,科学出版社要出《中国现代科学家传记辞典》一书,他们通过钱老的前任秘书王寿云联系。王寿云去向他报告此事,刚说了几句,钱老就明白他的意思了,板着脸瞪了他一眼,说:"你想干什么?"王寿云话都没说完也不敢再往下说了。这本书的主编是原中国科学院院长卢嘉锡,他们当年在美国就相识。科学出版社只好把钱学森不同意上书的意思向卢老报告。在一次开会时卢老见到了钱老,我记得当时卢老对他说:"钱老,我主编的《中国现代科学家传记辞典》可不是野的,是经国家新闻出版署和中国科学院共同批准的,上你的条目也是经审查批准的,你要是不同意上这本书,我这个主编只好不当了。"在这种情况下,钱老才同意上他的条目,并授权由王寿云撰写。

三、优秀的共产党员,科技界的一面旗帜

钱学森1959年入党。但他是我党的一面旗帜,全党学习的典范方面的事迹却鲜为人知。所以在这里我要介绍一下他这方面的事迹。而他这方面的品德与他科学上的成就也是密切相关的。

1. 对金钱的态度。钱学森一生对金钱看得很淡漠。他当年放弃在美国的优厚条件,坚决要求回到各方面都还十分落后的祖国,就是为了和祖国人民同呼吸,共患难,用他的知识和智慧建设国家,使祖国强大,人民幸福。值得庆幸的是,钱学森用他的行动,实践了自己的愿望。

他回国以后,完全靠自己的工资生活,以今天的标准看,那时的工资是很低的,一级教授一个月300元多一点,而且是几十年一贯制。除了工资之外,他还有一些稿费收入,晚年也曾得到过较大笔的科学奖金。但他把自己所得几笔较大的收入统统捐了出去。这包括:钱学森著《工程控制论》1958年中文版稿费(千元以上,这在当时是一笔很大的收入)捐给了中国科技大学力学系,资助贫困学生买书和学习用具;1962年前后,钱学森著《物理力学讲义》和《星际航行概论》先后出版,稿酬有好几千元。这在当时简直就是一个"天文数字"。那时还处在"三年经济困难"时期,人人都吃不饱肚子。钱学森及其家人和全国人民一样,也是勒紧裤带过日子。但是,这么一大笔

钱并没有使钱学森动心。当他拿到这两笔稿费时，连钱包都没打开，转手就作为党费，交给了党小组长。

1978年钱学森又交了另一大笔党费。当时“文化大革命”刚刚结束，开始落实各方面的政策。钱学森的父亲钱均夫老先生原在全国政协文史委员会上班，1969年去世。但因“文化大革命”的冲击，从1966年起就不发工资了。所以，钱均夫老先生在去世前三年未领到一分钱工资。到1978年落实政策时，给钱均夫补发了3000多元的工资。然而，钱老先生已经过世，钱学森作为钱均夫惟一的儿子，自然有权继承这笔报酬。但是钱学森认为，父亲已去世多年，这笔钱他不能要。退给文史委员会，人家拒收，怎么办？钱老说，那我只有作为党费交给组织。所以这3000多元也交了党费。

除此之外，1982年钱学森等著《论系统工程》一书，钱学森本人所获稿费捐给了系统工程研究小组；1994年钱学森获何梁何利基金优秀奖100万港元，这是一笔相当大的奖金。这100万港元的支票甚至都未经过他的手，他就写了一封委托信，授权王寿云和我，代表他转交给促进沙产业发展奖励基金，捐给了我国西部的治沙事业。直到我写此文的时间为止，他的几笔大的收入，统统都捐了出去。即使在平时，他和别人联合署名发表文章时，他总是把稿费让给别人，说：“我的工资比你多，此稿费就请你一人收下吧！”钱老对待金钱的态度，读者自己可以由此得出结论。

2. 对地位的态度。钱学森曾任国防部第五研究院院长、副院长，第七机械工业部副部长，国防科委副主任，国防科工委科技委副主任，直到中国科协主席、全国政协副主席等要职，其地位不可谓不高。但一般人不知道，钱学森对这些“官位”一点也不在意。要不是工作的需要，他宁可什么“官”也不当。他常常说：“我是一名科技人员，不是什么大官，那些官的待遇，我一样也不想要。”所以，他从不爱出席什么开幕式、闭幕式之类的官场活动，只喜欢钻进科学世界，研究学问。在这方面若有所得，就十分高兴。他常说：“事理看破胆气壮，文章得意心花开。”

人们常常不明白，在国防部第五研究院，钱学森为什么是先任院长，后任副院长？其实，这就是钱学森和一般人的不同之处。1956年，他向中央建议，成立导弹研制机构，这就是后来的国防部第五研究院（下简称五院），钱学森担任首任院长。但随着导弹事业的发展，五院规模的扩大，钱院长的

行政事务也越来越多。比如连人员的住房分配，食堂和幼儿园的建设等都要他亲自过问，但这并非钱学森之所长。与此同时，又有大量技术问题等待他去解决和处理。在这种情况下，他不得不向领导提出，免去其院长职务。周恩来、聂荣臻也很快注意到这种情况，他们接到钱学森的请辞报告后，果断决定，配备强有力的行政领导，解决大量行政、后勤事务，把钱学森从这些繁杂事务中解脱出来，让他集中精力思考和解决重大技术问题。于是 1960 年 3 月，国防部任命空军司令员刘亚楼兼任五院院长，空军副司令员王秉璋任五院副院长，主持常务工作。后来，王秉璋又改任五院院长。从此钱学森只任副职，由国防部五院副院长，到七机部副部长，再到国防科委副主任等，专司我国国防科技发展的重大技术问题。钱学森对这种安排十分满意。他考虑的是科研工作，而不是自己因此会失去什么权力，降低什么待遇。这种精神贯穿在他的一切行动之中。

1981 年，当钱学森刚满 70 岁时，他立即给张爱萍写报告，说他年纪大了，比他年轻的人也都成长起来，他恳请组织上免去他国防科委副主任的职务，并要求退休，还推荐了三位可以接班的人。张爱萍接到钱老的报告以后找他谈话说：国防科委很快要和国防工办合并，成立国防科工委。考虑到你的意见，可以不再任命你担任国防科工委副主任。但是我们的国防科技事业还需要你，你不能退休。将成立国防科工委科学技术委员会，给科工委领导作科学技术的参谋，重大科研项目先由科技委的专家们论证，提出方案，再报请科工委领导批准实施，所以还要请你在科技委继续工作。这样，钱老又在科技委干了五年。到 1986 年他满 75 岁，又主动给领导打报告，请求免去他科技委副主任的职务。到 1987 年才批准他从国防科研的领导岗位上退下来，并被聘为科技委高级顾问。

他出任中国科协三届主席的经历也是曲折的。大家知道，科协是五年一届，而周培源从 1980～1986 年担任了六年的主席。为什么周老干了六年？就是因为主席的人选达不成一致。大家一致推选钱学森为三届主席，可是钱老坚决不干。记得 1985 年科协二届第五次全国委员会，一致通过建议，由钱学森任三届主席，他个人还是不同意。一直到闭幕那天，在京西宾馆开闭幕大会，请钱老（他是副主席）致闭幕词。闭幕词的稿写好了，送给他审阅。他看了稿子以后表示，这个稿我原则上同意，但最后要加一段话，让



我向大家说明，我不能出任三届主席的理由。如果你们同意加这段话，我就念这个稿子，如果你们不同意，我就不念，请别人致闭幕词。科协的同志只好表示："钱老，您念完这个稿子，可以讲一段您个人的意见，但不要正式写进这份讲稿"。于是钱老同意致闭幕词。我参加了那天的大会，我记得当时的情景是：当钱老说明他不适合担任下届主席时，会场上连续地鼓掌，使他没法讲下去。有人站起来插话说："钱老，这个问题您个人就别讲了"。大家对他的插话又热烈鼓掌。后来方毅、杨尚昆、邓颖超都出面找他谈话，劝他出任科协三届主席。

由于这样一些工作，钱老才担任了一届科协主席。如果不是大家这么一致地做工作，钱老是绝不会要这个名的。1991 年，当他任期满了以后，在换届时，他坚决不同意连任，并推荐比他年轻的人担任下届科协主席。

关于全国政协的职务也是这样。大家知道，钱老是全国政协第六、七、八届副主席。当然，第六届他并不是换届时选进的，而是中间增补进去的。但钱老不算这个细账，他在七届任满时，就给当时政协的负责人写信，请求不要在八届政协安排他任何工作。信的全文如下：

李先念主席宋德敏秘书长：

4 月 15 日上午我在 301 医院得见洪学智副主席，他嘱咐我要注意休息，切莫活动过多。我当即向洪副主席报告，我早已上书先念主席，请求免去我在全国政协的事，后在一次全国政协主席会上，先念主席答应此事在换届时解决。现在正在进行政协全国委员会换届工作，故我再次提出请求，不要再在八届全国政协安排我任何工作。这是我身体条件的实况。

谨此报告。并致

敬礼！

钱学森

1992.4.20

但是，这个报告没有被批准，直到 1998 年全国政协八届换届时，钱老才从全国政协的位置上完全退下来。

读者从这些事实中看到，钱学森是从来不要什么地位的。

一般说来，和"地位"相关的一个重要问题是"待遇"问题。钱老不仅从



不向组织谈及自己的什么待遇，而且总是自觉主动地降低他的待遇。比如住房问题，自从上世纪 60 年代初他搬进航天大院以后，至今一直住在那套老式公寓房里。后来组织上建新房，曾想给他按标准盖一座小楼。我们工作人员也希望钱老的住宿条件得到改善，若有一栋小楼和一个小院，他可以在院子里晒晒太阳，有利于他的身体健康。当我们劝他搬家时，钱老说："我现在的住房条件比和我同船归国的那些人都好，这已经脱离群众了，我常常为此感到不安，我不能脱离一般科技人员太远"。我说："钱老，现在都 90 年代了，一般科技人员的住房都有了很大改善，您说的那是老黄历了"。钱老摇摇头说："你别再提这个问题了。我在这儿住了几十年，习惯了，感觉很好。你们别折腾我，把我折腾到新房子里，我于心不安，心情不好，能有利于身体健康吗？"从此，我理解了他老人家的思想境界，再也不向他提房子问题了。但是，一些去过钱学森家的人都感到，他住的房子实在太旧了，有人甚至为钱老鸣不平，说"大科学家住小房子，太不合理了"。但钱老本人却心境平静，把一些世俗之人追求的金钱、地位看得比一池清水还淡。

3. 对待荣誉的态度。既然钱学森对金钱、地位看淡如水，对待荣誉也依然如此。这里我也要讲几件鲜为人知的事。

第一件事是钱学森所著《工程控制论》一书，经宋健修订、增补后，以钱学森、宋健二人合著的名义，1980 年再版。此书 1981 年获"国家优秀科技著作奖"。大家知道，这是改革开放以后，第一次颁发科技图书奖，而且《工程控制论》是这次科技著作最高奖。颁奖仪式很隆重，各方面都希望他能出席，但钱学森坚决不出席颁奖仪式，谁来请也不去。他的理由是，新版是由宋健修订增补的，理应由宋健去领奖。由此也可以看出钱学森的高风亮节，提携后辈的品德。

第二件是关于"院士"的荣誉称号问题。我想目前在中国，从事科研工作的，都想争取一个荣誉称号："院士"，或中国科学院院士，或中国工程院院士。这个称号在 1994 年以前叫"学部委员"。然而，大家不知道的是，钱学森在 1988 年和 1992 年曾两次给时任科学院院长的周光召写信，请求免去他学部委员（即院士）的称号。这里只引用 1992 年的信，全文如下：

本市三里河中国科学院

周光召院长：

近得1992年第6次学部委员大会通过并经国务院同意的《中国科学院学部委员章程(试行)》,看到其中第24条说学部委员可以申请辞去学部委员称号。您是知道的,我前几年即有此意。近日来,更因年老体弱,已不能参加集会作学术及其他活动,故已不能完成中国科学院学部委员的任务。据《章程》规定及个人情况,特申请辞去我的学部委员称号。

以上请您批办。

此致

敬礼!

钱学森

1992.9.21

信发出以后,钱老告诉我,在一次学部大会执行主席会议上,周院长和严老(严济慈)一起做他的工作。周光召说:"钱老,学部委员不是个官位,是大家选的,不是我任命的。我无权批准您的请辞报告。"严老说:"我们主席团讨论了,大家一致不同意您的请辞报告。"

第三件事是1985年钱学森作为第一获奖人,荣获国家科技进步特等奖的问题。获奖项目是战略导弹。

钱老是我国火箭导弹事业的创建人,他获此项目的特等奖,谁也不会有异议。但是评奖的过程,确实充分显示了钱学森在荣誉面前的高尚风范。当时,军口的奖,评审委员会在国防科工委,国防科工委的科技委员会就是军口的国家奖励评审委员会。张震寰是科技委主任,也是评审委员会主任;钱学森、朱光亚等是科技副主任,也是评审委员会副主任,科技委的委员都是评审委员。

1984年秋,科技委开会,审查航天部申报的项目,包括战略导弹、潜射导弹和通信卫星等。一方面评审这些项目,另一方面要审查获奖人名单。这么大的项目,每个项目只署十几个获奖人的名字,还要审查这十几个人的排序是否合适等等,麻烦事不少。航天部的项目整整评了一个上午,钱老和大家一样,积极发言,而且他比别人说的更多,因为他更了解航天部的情况,充分肯定了获奖人的功绩。快到吃午饭时,航天部的奖才基本评完,张主任宣布散会。大家都站起来要离开会场了,就在这时,一位叫杨士明的科技委

委员突然说："张主任，航天部报的受奖人名单有一个重大遗漏，为什么没有钱副主任？"张震寰听了一愣说："这可是个大问题，贡献最大的人怎么不获奖啊？大家先别走，议议这件事。"于是大家又坐下来接着开会，钱老笑眯眯地马上发言说："这次评奖是分项目评的，我参加获奖不合适，因为我不在这些项目的任何一个项目之中，我在所有这些项目之上。所以他们不报我的名字是对的。"于是会上七嘴八舌发表了些不同意见。有的人赞成钱老的意见，说如果把钱老的名字列人某个项目，实际上是降低了钱老的贡献；但也有人说，这是改革开放以后第一次评奖，是对过去二十几年工作的总结。钱副主任对我国导弹航天事业的贡献举世公认，这个领域的奖，无论如何不能没有他。由于意见不一致，最后张震寰只好说："把这件事退给航天部，请他们提出方案。"这就是后来在战略导弹这个项目中，钱学森作为第一获奖人的由来。然而这样的安排并未事先告知他，他是去参加颁奖大会才知道的。我记得会后钱老回到办公室，拿着获奖人名单对我说："我明确表示不要这个奖，他们还是把我排进来。这样一来，这个项目的总师屠守锷就成了第二获奖人，这很不合适嘛！但我毫无办法。"

第四件事是1991年授予他"国家杰出贡献科学家"荣誉称号的情况。1991年钱老满80岁，正好这一年中国科协要换届，从此，钱学森要退出所有一线科技工作。为了表彰他对我国科学技术事业的贡献，中央酝酿授予他荣誉称号。但整个酝酿过程钱学森一无所知，授奖仪式在10月16日举行。当一切准备就绪之后，在10月10日这一天有关人员才向他本人报告。对于这么高的荣誉，钱学森本人的态度十分冷静，决不因此而忘乎所以。其证据之一是他在授奖仪式上的著名讲话：他并不激动；二是授奖仪式之后，新闻媒体上出现了一个宣传钱学森，学习钱学森的高潮，一些著名科学家，比如钱三强、王大珩、张维等都接受记者采访，谈学习钱学森的体会，航天部，科协，科工委等单位也作出向他学习的决议。在这几天，我也忙得不亦乐乎。一天上午，钱老把我叫到他的办公室。第一句话就是："你怎么还在忙啊？我们办任何事，都应该有个度。这件事（指对他的宣传报道）也要适可而止。这几天报纸上天天说我的好话，我看了心里很不是滋味。难道就没有不同的意见，不同的声音？"我立即回答说："钱老，既然您说到这里，那么，我如实向您报告：我也听到一些不同意见。有的年轻人说，怎么党的知

识分子政策都落实到钱学森一个人身上了?"钱老立即说:"你说的这个情况很重要。说明这件事涉及党的知识分子政策问题。如果它完全是我钱学森个人的问题,那我没什么可顾虑的,他们爱怎么宣传都行。问题是在今天,钱学森这个名字已经不完全属于我自己,所以我得十分谨慎。在今天的科技界,有比我年长的,有和我同辈的,更多的,则是比我年轻的,大家都在各自的岗位上,为国家的科技事业作贡献。不要因为宣传钱学森过了头,影响到别人的积极性,那就不是我钱学森个人的问题了,那就涉及全面贯彻落实党的知识分子政策问题。所以,我对你说要适可而止,我看现在应该画个句号了,到此为止吧。我这么说并不是故作谦虚,要下决心煞住,请你立即给一些报纸杂志打电话,叫他们把宣传钱学森的稿子撤下来。"于是我回到办公室,立即照办。比如《光明日报》、《科技日报》等,都表示尊重钱老本人意见,明天不再见报了。有一个杂志,他们也表示尊重钱老意见,但下期的稿子,已下厂排版,有两篇回忆与钱老交往中受到教益的文章不好撤下来。打了一圈电话,我到钱老办公室向他反馈信息。当他听到那个杂志这两篇文章无法撤下来时说:"这样的回忆性文章都是在一个人死了以后才发表的,我还没死,他们急什么?"我听了这话,扭头就走,赶紧打电话告诉该杂志的主编:"钱老把话都说到这个份上了,天大的困难你们去想办法克服,但稿子一定得撤。"

还有一件事情是:此后第二年"五一"节前夕,召开全国劳模大会。全国总工会给我打电话,说他们已通过表决,钱学森是全国劳动模范,并请钱老出席全国劳模大会。我将此事报告钱老以后,他说:"请他们务必不要如此。党和国家给我的荣誉已经很高了,不要把荣誉都堆到一个人头上,务必将这一荣誉授给别人,以便调动大家的积极性"。

以上是关于钱学森对待金钱、荣誉和地位的态度。他的崇高思想境界和高尚品德,使他成为一名优秀的共产党员,科技界的一面旗帜,全党学习的典范。这些品德看来和科研工作没有太大的关系。其实,一个科研人员,如果满脑子都是金钱、荣誉、地位这些东西,即使他很聪明,也成不了大器。科学是需要人们无私奉献的,古今中外,概莫能外。这里,我想引用钱老1978年在悼念他的挚友、著名科学家郭永怀时讲的一段话:"一方面是精深的理论,一方面是火热的斗争,是冷与热的结合,是理论与实践的结合。这

里没有胆小鬼的藏身处，也没有自私者的活动地；这里需要的是真才实学和献身精神。"这句话既是他对亡友的深切怀念，也体现了他的崇高思想境界。

2001 年 8 月，江泽民总书记在一篇重要文章上批示："我们应该向人民科学家钱学森同志学习"。纵观钱老走过的道路，他获此殊荣是当之无愧的。

（节选自西苑出版社 2002 年出版的《科学人生
——中华人民共和国十大功勋科学家传奇》）



附录

海外二十载　归国四十春

——记著名女高音歌唱家、声乐教育家蒋英教授

甘家鹄

被声乐界誉为我国欧洲古典艺术歌曲权威的蒋英教授，是音乐界的名家之一。笔者纵观她的生平事迹、思想品德、理想情操，由衷地感到，时代的风云已把她雕琢成一件艺术品，她的人生旅途是一篇诗、一幅画、一首不同凡响的歌，一曲难忘的交响乐。

一

蒋英，浙江海宁人，1919 年生于北京，父亲蒋方震(字百里)，民国时期高级军事将领，著名军事理论家。其一生精研兵法，著述宏富，通晓多种外语，尤善日语、德语，除军事以外，对哲学、历史、经济、文化艺术以至佛经、书法、均有研究。曾主编文学杂志，兴办文学社团、先后邀请国际著名学者杜威、罗素、泰戈尔等来华讲学；并著有《国防论》、《欧洲文艺复兴史》等论述，是一位精通古今中外，多才多艺的学者和军事学家。

蒋英出身于名门，其父膝下无子，所生姐妹五人。她从小接受传统文化的熏陶，背诵唐诗宋词，聆听历史故事，并从对祖国传统文化的了解中，培养了民族意识。蒋英生长在将门，虽是娇生，却不惯养，父亲为了养成女儿们自强的性格，从小教会她们骑马、游泳，培养战胜困难，临危不惧的精神。儿时的蒋英就被父辈们戏称好胜的小天使，这正是对她未来成长的预示。

由于受其父的影响，蒋英等五姐妹中有两人学习音乐，大女儿蒋昭学习



小提琴，三女儿蒋英学习钢琴。蒋英在上海中西女塾就读时走上音乐之路，按其父的话说，“择其性之所近而辅导之”。蒋英自幼沉默寡言，具有歌唱的天赋。1935 年蒋方震以军委会高等顾问的名义，出访欧洲考察，蒋英和母亲、妹妹同往。一家人乘意大利“维多利亚”号邮轮，漂洋过海，开始畅游欧洲的旅行。船每到一处，全家都要登岸盘桓，浏览风光，瞻仰名胜，父亲总是要把女儿们放在行万里路的航程中去了解世界。船到罗马古城，父亲讲述：(1) 从斗兽场看政治。(2).从梵蒂冈中看宗教。(3) 从雕塑、画廊中看文艺复兴。(4) 从建筑中看经济。并指出：“有知识的人，才配谈经验；肯钻研的人，才配谈阅历。”这些经验和阅历，对蒋英日后学习欧洲文化，打下了丰实的生活基础。

二

蒋英随其父在中欧游历了三个月，一家人经维也纳到德国柏林，其父将蒋英姐妹送进了德国闻名于世管教严格的贵族学校冯·斯东凡尔德(von Stumpfeld)就读。在那里，蒋英养成了极端守纪律和勤奋学习的品德，同时，按她自己的话说：“也沾染了日耳曼民族的死心眼和固执。”

1937 年蒋英立志终生从事音乐事业！投考了柏林音乐大学声乐系。录取后，被系主任著名男中音、声乐教育家海尔曼·怀森堡(Hermann Weissenborn)教授选中。在他门下，她系统地学习了西洋美声唱法，掌握了不同时期、不同作家、不同形式的声乐作品；同时用心攻读德语、法语、意大利语、英语。大学的生活，用蒋英的话说：“进大学后，我像掉进知识的海洋里，吞呀，吞呀！有吞不完的好东西。”柏林音乐大学必修课并不多，选修课就根据自己的需要和能力选择。一般学演唱、演奏专业的学生，非常重视基本练习：钢琴、小提琴专业每天要练 8 小时；学声乐的一天时间不够用，练声、练琴、作乐理习题、学外文，直到夜暮来临，还要直奔音乐厅和剧院，聆听交响乐、室内乐、独唱音乐会、观看歌剧、话剧等。有时顾不上吃饭，在地铁买个面包夹小香肠充饥。没吃饱的部分，只好用精神食粮填补。蒋英那时对各类演出活动广泛涉猎，是为了打下语言基础，更是为了唱好歌。蒋英曾说：看演出是同学们最高兴的事，有时学生会给的票，都在最高一层的观众

席上，同学们都戏称为“上天堂”。一来坐得高，大有上天之感；再则，美妙的乐曲，精彩的演奏，听得人魂飞天外直上九霄，真是到了天堂里的“极乐世界”了。

大学里严格的教学，丰富的文化生活，使学生进步很快。从一年级起，学校就鼓励学生参加音乐会。德国一般家庭，在周末、节假日或家庭庆典时，都有组织室内音乐会的习惯，学生可作为邀请对象，组成重奏，重唱小组到朋友家中去演唱。参加这种活动是检验学习的好机会，蒋英对此非常重视，她说：每次音乐会，总要精心打扮一番，穿上最漂亮的中国旗袍，往那儿一站，使在座的听众无不惊讶地欣赏这位来自文明古国东方姑娘的演唱。蒋英常想：我不能丢中国人的脸！我一定要学出个样子给他们看看！这些掷地有声的铿锵语言，是中国老一辈海外学子的风骨，强烈的爱国意识，是他们用一生的行动证实了的。使人从他们那里深刻认识到做一个中国人的责任，也使人对他们感佩、折服。

1938年，中国的抗日战争进人了战略相持阶段。不幸的消息从天而降，欧洲报纸上登载了蒋方震病逝的噩耗。身在异国他乡的蒋英，悲痛欲绝，重洋远隔，关山阻断，听不见亲人的哭声，看不见慈父的遗容，战乱中不能回国奔丧，蒋英只有写了一篇痛念父亲的至爱文字，留在了曹聚仁著的《蒋百里评传》中。此后，蒋英时时想到父亲遗训：“求学问必须有坚定的信心，才有丰富的收获。”从此，她咬紧牙关，以坚韧的毅力，留在德国，希望完成学业，以报答父辈给的恩泽。

1940年英国空军开始对德国实施轰炸。战火燃及本土，使得包括柏林音乐大学在内的学校成了半关闭状态。这年冬天，蒋英随着几个同学南下逃难，过着兵荒马乱的生活。此时全德食品供应极度匮乏，在只能配给的日子里，蒋英也饥肠辘辘，披星戴月，争先恐后到路旁去拾农民的落果。一天，一位农村来的朋友给了三个鸡蛋，同学们惊呼：“多么美的珍珠呀！”战争，总是给人民带来苦难和辛酸！

战乱中蒋英始终不忘初衷，要想完成学业，只好辗转到中立的瑞士去求学。瑞士这片孤岛，有许多国家的著名音乐家都在此地避难。蒋英转到卢塞恩音乐院后，在匈牙利歌唱家依罗娜·杜丽戈(Ilona Durigo)研究生班，学习德国艺术歌曲和清唱剧；次年又师从慕尼黑音乐院教授，著名瓦格拉歌



剧专家艾米·克鲁格(Emmy Krueger)学习歌剧和表演;这两位音乐大师的教学,使蒋英的专业技能有了一个全面的飞跃,不仅扩展了知识领域,还掌握了大量的德国艺术歌曲、法国艺术歌曲、清唱剧、受难曲、弥撒等室内乐作品,同时对古典、浪漫时期以及近现代的歌剧作品也深有研究;蒋英为了学好艺术歌曲和歌剧这两门与文学紧密相合的音乐形式,此间又阅读了大量的欧洲古典文学名著,打下了丰厚的文学基础。正如她在日后的文章中所说:"艺术歌曲是唱出来的诗,以歌声来加强诗的感性,歌中有诗,诗中有歌。"同时她还说:"历史上的记载告诉我们,名歌唱家都不只限于声乐一门学识,他们往往都是在各门艺术中有修养的。"蒋英当时的学习已日臻成熟,用她自己的话说:我可以独立工作了。

1944 年在蒋英即将毕业时,曾被邀出席在瑞士举行的国际音乐节。演唱后,各国与会人士,对这位年轻的歌唱家,都一致推崇,认为她卓越动人的歌声,把很多对中国人没有音乐天才的偏见,都因之消除殆尽。此时战争大势已定,她的老师克鲁格邀她战后去慕尼黑音乐院当他的助教,但她一心想回归故里,报效祖国,岂能迷恋欧洲?

三

随着第二次世界大战结束,地中海已经恢复通航,1946 年蒋英在海上漂泊一个多月,回到阔别十年的故土——上海。蒋英学成归来,对音乐界的同行和亲朋好友无疑是个喜讯。1947 年,蒋英在兰心大剧院,由上海市政府交响乐团主办,举行了首场独唱音乐会,钢琴伴奏由乐团指挥,著名钢琴家马果林斯基担任,演出结束后,上海歌坛极为轰动,鲜花满台,报道连篇,当时极负盛名的音乐评论家俞便民 1947 年 6 月 2 日在《每日新闻》报上著文说:"蒋英的音乐会是本评论者听到的最佳音乐会之一,她也是近年来舞台上出现的青年女高音。蒋的歌喉是抒情的,她的特点是懂得如何运用她的嗓音,最令人信服的是她有音乐感……她戏剧性的才华得到充分地发挥,无论在音域还是在音量上,她都掌握得极为出色……熟练的技术与丰富的经验,使得快速的滑音和花腔都显得极为轻巧和优美。"并说:"演唱确实是有水平的,能在陌生人中发现一位知音,为我是真正的收获。"有的记者连续



报道："她卓越的歌唱艺术，加强了记者对中国艺坛感到必将吐射光华的信念，中国人一样有优越的艺术天才，良好的资质和聪敏头脑，在正确指导下，能努力苦干，仔细琢磨的话，那将来在世界乐坛上，吐射着原子式的灿烂光芒，也是意料中事……"不想，文中的评论和预见，在四十多年后的今天，正是由蒋英的学生们得以实现，她的许多得意门生，真的"在世界乐坛上，吐射着原子式的灿烂光芒"了。

蒋英在上海、杭州两地成功的演出后，接到上海音专戴粹伦院长、南京国立音乐院吴伯超院长的聘请，热忱欢迎蒋英到学校任教。那时正是国民党反动统治最黑暗的时代，蒋英归来的社会声誉以及家庭历史渊源，免不了国府的达官显贵、名媛佳丽要来周旋。诸多的社会应酬，不必要的家庭邀请，使蒋英极其厌恶的官场作风，玷污着文人学士的风骨和心目中神圣的艺术。1947 年蒋英与父辈同窗之子，一位对欧洲古典音乐有深刻理解和爱好的著名科学家钱学森教授结婚后，毅然离开了上海，东渡太平洋赴美。当时钱学森先是美国麻省理工学院的教授，后又是美国加州理工学院的主任教授。蒋英有条件依然徜徉在音乐和艺术的海洋里，她可以长年预定波士顿乐团的季票，尽情欣赏一切最美好的演出，并潜心收藏到许多珍贵的唱片和乐谱。这个时期为她的音乐事业积累了无穷的精神和物质财富，一直到现在收藏音乐资料已成为蒋英的癖好，但她不私有，许多学者和同事们都得到过她的馈送。这些馈送一旦被使用，其作用和价值是无法估量的。

1949 年新中国成立后，胜利的消息传到大洋彼岸，蒋英夫妇抱着为祖国人民服务的拳拳爱国心，立即动身返国。但当买好机票，托运了行李之后，美国当局害怕钱学森这位世界著名的科学家回到祖国，为"红色中国"服务，对钱学森非法软禁了五年。在长达五年受监视、受威胁的日子里，蒋英的民族气节和崇高品德正如钱学森同志 1991 年在接受国务院、中央军委授奖大会上的讲话中所说："美国政府对我进行迫害的这五年间……蒋英同志是做出了巨大牺牲的，这一点，我绝不能忘。"蒋英政治上的成熟，更加坚定了钱学森踏上祖国归途的决心。1955 年在党和政府及周恩来总理亲自关怀下，终于使他们全家回到了祖国的怀抱。



四

归国后，蒋英分配到中央实验歌剧院任独唱演员和声乐教员。

这一段生活，对蒋英来说无疑是巨大的转折。解放了的中国对一般生活在国内的人，已经感到新事物层出不穷，对蒋英这位长期生活在海外的人，更是异常新鲜而陌生了。但蒋英怀着赤诚之心，满腔热情地一心要报效祖国，努力使自己适应新的生活，新的环境，新的工作需要，成为建设新中国的一分子。

她归国后的艺术生活是怎样重新开始的，这里不妨摘录一段她写下的文字：

“1956年在全国第一届音乐周时，我不但参加了独唱音乐会，作了《关于西欧声乐发展史》的报告，而且最难忘的是在闭幕式联欢会上，我自弹自唱了几首莫扎特和舒伯特的歌曲，节目演完后，敬爱的周总理向我和歌剧院几位同志坐的地方走来，周总理刚坐下，李波就将我介绍给总理，并说：‘她唱得多好啊！’周总理的回答是：‘好！好！但是我不懂呀！’回家的路上，我一直在琢磨这句话的意思。终于，我悟出了其中的涵义，用外文唱外国歌，有多少人能听得懂呢？从那以后我就下决心学中国作品，起初，我认为难不倒我吧！但实践证明，我不懂本国语言的四声，不懂诗词的音韵，更不要说表现作品的风格了。在歌剧院同志的帮助下，我拜老艺人为师，先学京韵大鼓，单弦、后来又壮起胆子学唱京剧、昆曲，功夫不负有心人，后来果真我也敢在舞台上唱中国作品了。”

“一次，歌剧院巡回演出到达阳泉，为煤矿工人演出，舞台就是在广场上垒起的几块大木板，没有多少照明，更没有扩音器，节目轮到我了，我踩着咔吱咔吱作响的木板奔向台前，跟前是一眼望不到边的工人群众，山丘上，土坡边都站满了人群，那天夜很黑，只有三分明月，我虽看不见观众的表情，但我能感觉到台下沸腾的气氛，我面对着伟大的中国劳动人民，激动地拉开嗓门，用上全身的功夫，高声歌唱我们队临时编的歌唱矿工英雄的歌，我感到自己的声音从来没有这样响亮，这么流畅过，我的声音，我的激情确实是从心里涌出来的，当我的歌声刚落，一股热流从台下向我冲来，我只有再三的、

深深的向劳动人民鞠躬，我不敢抬起自己的头，这是为了遮掩我回敬的眼泪和那颗感动的心。回到后台，同志们紧紧握着我的手，一言不发，领导也从远处走来，向我会心地微笑……”

多么激动人的场面，多么真挚的感情，多么热忱的心啊！五十年代文艺工作者全心全意为工农兵服务的文艺思想，使蒋英从欧洲室内乐的金字塔里走向了另一个艺术天地。她投身火热的生活，上街头、下炕头，去火车站欢迎志愿军归国等等，各类演出使她俨然已经成为一个参加革命的新文艺工作者。

五

1959年全国重点艺术院校——中央音乐学院从天津迁到北京。当年赵沨副院长，在全国广泛聘请名家执鞭，蒋英也在被聘之列。蒋英调到音乐学院后，在声乐系、歌剧系任教。光阴荏苒，一晃就是将近四十个春秋，四十年来，蒋英在这所音乐殿堂里，默默奉献，辛勤耕耘，用她的心血和汗水浇灌出累累硕果。多年来她为国家培养了大量的声乐人才，尤其是“文革”以后，党的十一届三中全会以来，改革开放的春风更绽开了她的艺术才华，广博厚重的学识才得以充分发挥。教学中她全面的艺术修养，娴熟的外语知识，周密的教学计划，高深的音乐教材……使她独树一帜的培养出许多活跃在国际舞台上，享誉国内外的歌剧演员、歌唱家。

最近被邀请归国参加20世纪华人经典音乐会，领唱《黄河大合唱》“黄河颂”的著名男中音歌唱家傅海静，1983年毕业后继续在蒋英名下攻读硕士学位。硕士生的博大精深，全靠教师的悉心指导，傅海静从一名部队的普通文艺工作者，成为进入美国纽约大都会歌剧院主要演员行列中的第一位东方人，并担任多部歌剧中男中音的主要角色，在美国声乐界有一定影响。正如《纽约时报》的评论员艾伦·柯静(Allan Kozinn)评论道：“来自大连的男中音傅海静星期四晚上，在大都会歌剧院成功地首演，为中国歌手取得了令人信服的公认，他在《茶花女》中扮演乔治·亚芒……他发声投射的方法，也是很完善的。他动听的声音，在整个音域内是坚定无懈的。”1991年傅海静有幸被意大利著名歌王帕瓦洛蒂(L. Pavarotti)邀请，在林肯中心同台演

出，这场盛大的音乐会，每年举办一次，并向全美、加拿大、欧洲实况转播，其成就和造诣可想而知。傅海静取得的成功，除了他个人的因素外，应该就是国家，是音乐学院，是教授他的所有教师们的功劳，而蒋英渊博的学识，高超的技艺，将他送上了国际舞台的宝座。

1978年考人音乐学院歌剧系的女高音姜咏，入学后一直师从蒋英教授，蒋英为了使她成为高材，对她的学习进行了全面的教学，声乐、钢琴、乐理、音乐史、外语等，姜咏能求教于这样一位全才的老师，真乃人生幸事。1988年姜咏参加比利时伊丽莎白女皇声乐大赛，获优胜者奖。同年在蒋英帮助下，到瑞士日内瓦音乐院进修，结业后，被洛桑剧院和德国奥斯纳布鲁克歌剧院聘为主要演员，在多部歌剧中扮演主角。1989年在日内瓦国际歌剧比赛中荣获一等奖；1990年在法国克莱蒙—范朗国际清唱剧与艺术歌曲比赛中又获一等奖。赛后，她在给蒋英长达17页的来信中写道："当伴奏弹起了莫扎特的经文曲时，我以全部的心、感情、纯洁的歌声、歌颂了我的上帝——以正直、善良、高尚的心灵、情操从事着音乐事业，把一切奉献给美好可爱的音乐，真正的艺术家、我心中的艺术之神。"同时不无感激的写道："我之所以永远由衷感激您，不仅仅是您教会我走上正确的歌唱之路，不仅仅是您教给了我发声技巧……我想更主要的是：您引导我把一颗心献给了音乐，并愿为它付出一切努力和牺牲，我想这正是我不怕吃苦，不怕困难的力量源泉。"一次当国外电视台的记者采访时，姜咏激动地对着镜头说："我希望说几句中国话，我要感谢我的中国老师蒋英教授，她给了我很大的帮助，拉扯着我一步步向上攀登，我由衷地感谢她，永远忘不了她！"学生的这些出自肺腑的语言，对蒋英是最好的回报了。

1987年获得美国哈特音乐学院硕士学位的女高音祝爱兰，1974年入学后，经过蒋英多年的严格训练，为她打下了良好的音乐基础，经她赞助赴美深造，现已成为活跃在欧美舞台上的歌剧演员。正如洛杉矶《国际日报》报道："美国的歌剧界惟一知晓的中国女高音祝爱兰……她在上百应试者中被慧眼独具的经理选中……"文中还记载了祝爱兰的话"你们记者不要写我，多写写我的老师，如不是蒋老师的精心指导，我怎么能够在美国很快成功呢？"文章醒目的大字标题就是《祝爱兰成名不忘师恩》。

1986年当祝爱兰在哈特音乐学院毕业演出《玛依》时，该院特意邀请蒋



英赴美讲学并参加祝爱兰的首演式。蒋英同年应邀赴美进行学术交流,受到该院师生的热烈欢迎,院长当即再三恳请,欢迎蒋英第二年再度访美。

蒋英教学上的累累硕果,这里不能一一枚举,目前活跃在国内外歌剧舞台上的许多主要演员,都经过蒋英的指点培育。特别是近十多年来,随着改革开放的步伐,国际间的文化交流频繁,赛事活动甚多。大多数参赛人在赛前,都希望得到专家、权威的指教,而蒋英对求教者认真负责的精神以及无私的帮助,是有口皆碑不胫而走的,用行家们自己的话说:“中国也有世界第一流的教授。”目前,蒋英与学生们在国外的指导教师都有联系,从世界各地他们不时向蒋英传递成功的消息,赞誉蒋英的功绩。

蒋英在教学工作中除个别授课外,还在音乐学院内及社会上开设学术讲座,讲授欧洲古典艺术歌曲发展史和各个时期的每位作家及其主要代表作。蒋英讲课时,感情充沛,生动传神,内容充实,形象鲜明,理论讲解透彻,音乐表达细腻。讲座中蒋英或自弹自唱,或用钢琴演奏来分析作品;有时又请学生来演唱代表作。整个讲座娓娓动听,十分引人,每每座无虚席,深受广大师生及音乐爱好者的欢迎。蒋英不愧是我国当代首屈一指的讲授欧洲古典艺术歌曲的权威人士。

六

蒋英在教育事业上的贡献,值得大书一笔的是:1979 年中央音乐学院在文化部的支持下成立了歌剧系,蒋英出任歌剧系副主任。这期间她还实现了二十几年来的心愿,光荣地加入了中国共产党。在与杜利同志共同主持工作期间,精神饱满,干劲十足。音乐教育事业在经过“文革”的十年禁锢之后,师生们爆发出满腔热情,使系里的教学工作搞得热火朝天,科学研究,教学研讨一片繁忙景象。师生们的齐心协力,于 1983 年结出了丰硕的果实:他们排练的莫扎特的《费加罗的婚礼》、施光南的《伤逝》、威尔第的《茶花女》选场等歌剧以及两场独唱音乐会,在毕业公演时一炮打响,使得沉寂、荒芜了十多年的歌剧园地,后继有人,在各界的叫好声中十多名毕业生,几乎全部被中央两所歌剧院瓜分。现在这批毕业生,在国际、国内歌剧舞台上卓有成绩,人们是不会忘记蒋英付出的辛劳的。当年文化部邀请的访问学者,



英国格兰德堡音乐节的主要负责人，著名艺术指导马丁·埃赛普（M. Isepp）短期参加了《费》剧的排练工作，合作后对歌剧系的教学工作，给予了极高的评价；告别时一再邀请歌剧系的教师访问英国。1984 年蒋英应英国文化艺术委员会的邀请，赴英国参观访问。

蒋英除担任日常教学任务外，还结合教学实践，在科研和教材建设上做了大量的工作，成绩斐然，卓有成就。她曾撰写《西欧声乐技术和它的历史发展》、《德国艺术歌曲》等理论文章，翻译了著名声乐家松德伯格（C. Sundberg）的《歌唱的音响学》等著作。它们均在全国性的刊物上发表。

她从 50 年代起翻译、译配、编辑了大量的外国教材：舒伯特、舒曼、勃拉姆斯、德沃夏克以及法国艺术歌曲；三册《世界著名女高音咏叹调》。这些教材均由人民音乐出版社出版。

蒋英为了开展音乐普及工作，译配了外国民歌《妈妈我有个愿望》、《草屋上的国家》，刊登在群众性的歌集上。

蒋英这位勤于笔耕的声乐教育家，既注重理论建设，又勤于实践，在科研领域里为我们创造了宝贵的财富。早在 50 年代，她和钱学森合作，在《光明日报》上就发表过有关吸收西洋音乐的长处及如何继承民族文化遗产等问题的文章，对推动我国音乐事业发展，有过积极的建议。

蒋英曾任中国大百科全书音乐学科编辑委员会委员、中国音乐家协会理事、北京音乐家协会理事、北京市高教委员会附设中央音乐学院职称评审委员会委员、中央音乐学院学术委员会委员等职务，在诸多的社会工作中蒋英都竭尽全力，不懈地努力工作，奉献自己的聪明才智。

蒋英教授的丰富经历以及她事业上的成就，是这篇短文无法包罗的，尤以她教学中的精髓与真谛：技术训练与艺术表现；歌唱能力与全面修养；思想品格与发展前途等等，富于哲理和辩证的教学方法，只有留待音乐界的同行以及海内外的莘莘学子，不断总结研究载人史册了。

蒋英教授现已进古稀之年，但从未停止手中的工作：教学、翻译、接待求教者。每日仍像春蚕吐丝一样，永不停息地劳作，在人们的心目中，她永远是一位无私的奉献者。

当本文结束之际，我仍需摘录一段钱学森同志在上述大会上饱含深情地讲话，他说："蒋英是干什么的？她是女高音歌唱家，而且是专门唱最深刻

的德国古典艺术歌曲。正是她给我介绍了这些音乐艺术,这些艺术里所包含的诗情画意和对于人生的深刻的理解,使得我丰富了对世界的认识,学会了艺术的广阔思维方法。或者说,正因为我受到这些艺术方面的熏陶,所以我才能避免死心眼,避免机械唯物论,想问题能够更宽一点,活一点,在这一点我也要感谢我的爱人蒋英同志"。一位伟大的科学家,对一位艺术家如此深刻地评价和肯定,足见蒋英艺术上的作用和魅力,文中谈到科学中的艺术,艺术中的科学,这正是蒋英艺术上追求的最高境界。她达到了,但她并不满足,她总在攀登,孜孜以求。

(原载《人民音乐》1994 年 8 期;作者为中国音乐学院教授)

大教授蒋英

李俊兰

掌声拍打着北京音乐厅那挂满“重金属”的天棚，鲜花在那没有帷幕的舞台上开放，掌声里花丛中，80 岁的蒋英教授被她专程从美国、德国赶来参加这场演唱会的学生们簇拥着，一次又一次地向观众鞠躬致意。舞台正中，“纪念蒋英教授执教 40 年”的红色会标，成为这帧师生“舞台照”的醒目背景，紫红色衣裙映衬下的满头银发，犹如无字的“图片说明”……

当她还是一个头扎两根辫子的小女孩时，在父亲蒋百里——旧中国一位闻名遐迩的军事将领、文化学者，曾出面邀请并促成杜威、罗素、泰戈尔来华讲学，慈爱又严厉的督导下，先习钢琴，又攻声乐，16 岁上负笈西学，后入柏林音乐大学声乐系，舞台始终是她心中的向往，夜晚的梦境。不过在那时的她看来，80 岁该是很老的老奶奶，她从没想过 80 岁时再站到舞台上，被掌声包围，鲜花环绕。

其实就在 3 个月前她都没想到会有这一幕，那天，中央音乐学院的领导同她商议“执教 40 年活动安排”时，听说要开学术研讨会，她很高兴地同意了，她是德国艺术歌曲的权威教授，传承薪火责无旁贷。又听说开新闻发布会，还要把她那些在国际乐坛摘金夺银的学生召回来开演唱会，她摇头、摆手了：“那得花多少钱呀?”——她这个人是少有的“古板”，只要动“公款”就犯算计，就连突发心脏病住进医院手术之前问的也是这句话。院领导告诉她，这三个“会”是院党委研究后做出的决定，是为了落实中央强调的培养高素质面向 21 世纪的知识创新人才……自两年前那场手术后，她的听力已不如从前，可“中央精神”这四个字听清楚了，她是 1981 年 62 岁时在党旗下宣的誓，从那时起她就认定了自己的这个身份，从来也没忘记这个身份，于是她同意了。

其实她深知领导上和同事们的一片好意，只是这些年来，她和她那著名

的丈夫、人称"中国航天之父"的钱学森先生始终保持一种简约朴素、不事张扬的生活状态，面对种种社会流变，两人有个"三不"约定：不写传记、不评功摆好、不接受记者采访。他们只想远离世俗的名利，守一份读书人的宁静。

有道是："功成而不居，夫唯不居，是以不去。"说来也怪，这荣誉的光环有时偏偏追逐那些淡泊名利之人，说来还巧，8 年前的 1991 年即钱学森先生 80 岁时，为表彰他为我国导弹、卫星、火箭技术做出的重大贡献，国务院、中央军委在人民大会堂隆重举行"授予钱学森同志'国家杰出贡献科学家'荣誉称号仪式"，江泽民总书记出席并发表讲话，杨尚昆主席颁发荣誉证书和一级英模勋章，李鹏、邓颖超等同志写来贺信，成为中国科学界轰动一时的盛事。中国科学家前所未有的殊荣使钱学森先生风光无限。

8 年后，默默致力于声乐教育 40 年的蒋英教授亦在镁光灯下，在首都最高档次的音乐殿堂中，在她的学生美妙动听的歌声里，绽放她 80 岁的美丽。

这对佳侣，一生中有过几次约定：1947 年，因父辈是同窗好友而成青梅竹马的旅欧十载的女高音歌唱家蒋英小姐与麻省理工学院钱学森教授喜结连理，那是他们的白首之约；1955 年，受麦卡锡主义迫害，被美国政府软禁 5 年的钱先生，在周总理关怀下获准回国，携一双儿女航行在太平洋上，他们商定：以自己的所学所知报效新生的祖国……但他们没有约定甚至没有想过：80 岁时拥抱一份荣誉一份辉煌。

无约之约，是为大约。

说不期而至，其实是实至名归。

歌唱家：说得比唱得好

"冠名"为"艺术与科学"的蒋英教授执教 40 年学术研讨会 7 月中旬举行，到会的有文化部、中央音乐学院的领导，指挥家黄飞立，音乐理论家廖辅叔，声乐艺术家叶佩英及科学界人士。发言者多为歌唱家出身，所以予人一种听觉上的享受，譬如男中音黎信昌先生的嗓音浑厚、饱满；男低音吴天球先生挺着他的"啤酒肚"站到话筒前时，就像搬来一只大音箱，传导出的声音"嗡嗡"的，给人以"磁性"和"共振"的感觉。

论激情洋溢当属吴雁泽，只见这位已谢顶的中国音协党组书记，双手抱拳，数次向"恩师"行弟子礼。男高音的音色明亮、纯净，男高音的话语一如他的歌声流畅、动情："1959 年我来到中央音乐学院时，是个土里土气的乡下孩子，山东人，普通话都不会讲，在班里年龄最小基础最差。看到别的同学把钢琴弹得'哗哗'的，我上去却是'崩崩'的，有自卑感。可蒋英老师没有抛弃我，把我这么一个'土老帽'当成'宝贝蛋'，额外给我开小灶。她培养我的音乐感觉，说实话，农村孩子有什么音乐感觉，山上放牛鞭子一赶喊声'哟嗬——'，就这感觉。蒋先生为了鼓励我这样的后进生，每次讲评都不以成绩好坏论，而以态度好坏论，我逐渐克服了由自卑产生的学不进去，开始用功往正道上走。如果说今天我吴雁泽还懂一点音乐的话，那么我的知识首先来源于她，是蒋先生把我领进音乐艺术的大门。"男高音歌唱家说，使他对老师"满腹学问"之外"人品敬仰"的是 1959 年冬天到四季青公社拔大白菜。"蒋先生戴个棉帽子，像小伙子一样干，晚上住在农村非常简陋、八面透风的大屋里，不了解她的身世会以为她是个普普通通的人，她没有因自己是钱学森夫人坐汽车回了家。"这使他悟出了"做学问要严谨、做人要平常"的道理……这番"没有讲稿，只为表达一个老学生对老教授感激之情"的话语，因脱口而出犹如行云流水，因带着生命体验而真挚感人。一位女士说："听吴雁泽的歌没掉过眼泪，今天听他说却不行了……"

如果说吴先生的发言把听者的情绪感染到"泪盈双眸"，那么随后的张汝钧先生则使其"夺眶而出"了。这位专程从香港赶来参加"母校纪念恩师教学活动"的"掌门弟子"，酷热中仍是西装革履，先向老师深施九十度大礼，走到话筒前，一句"1959 年到 1963 年，蒋英先生教了我 4 年，实际上她教了我 40 年，人生能找到一位好老师，那是一生最大的幸运……"这位 62 岁、在香港开过 6 次演唱会的音乐家哽咽着说不下去了，以手抹泪，场上立时一片抽搭之声。张先生连道"对不起"后稳定了情绪，一副好嗓音再次发出的已是铿然之声："先生给我的太多了，最重要的，她不仅教我怎样唱歌；还教我怎样做人。她常说'学唱歌，不要光用嗓子练，更要多用脑子练'。'唱歌，用心灵唱才好听，光用嗓子唱不好听'。这是有人唱了一辈子都没有悟出的道理。培养我们的艺术修养，她说'用心灵才能听得懂音乐，用耳朵只能听音响'，这是非大师讲不出的体会，所以声乐大师不仅雕塑学生的喉咙，她还是

雕塑人的灵魂的工程师……"

张先生的发言,始于情感,终于理性,特别是对蒋先生音乐理念的追述发人深思。今人评价前辈学者的思想,拥有的是时间差的优势,尽管如此,这些阐发于五十年代末六十年代初的观点,仍然能与今天已极大发展了的音乐理论、音乐美学思想相衔接相契合。大师的深刻与高超,就在于其观点能经受时间的考验,经受住下一代人审视的目光。

"学术研讨会让人落泪的事,很少听说。"散场时一位记者如是感慨。

小字辈:存储着好人的记忆

与吴雁泽、张汝钧这些老学生毕恭毕敬师道尊严地称"蒋先生"的情景相比,音乐学院的职工子弟特别是三四十岁这茬人,对蒋的态度要轻松得多,也亲切得多,他们统统称之为"蒋阿姨"。就连有智商缺陷每天在东门打扫卫生的高达成,也带着一份满足感说:"蒋阿姨跟我关系不错。""怎么个不错法儿?""她、她老跟我聊天,挺关心我的。"

高达成的语言表达不能连贯,问一句"迸"出一句。收发室的柳玲娣、黎达两位女同志忙不迭地解释:"达成从小就没妈,爸爸脑子也有毛病,是院里烧开水的工人。就这样,'文革'中的 1970 年也'一锅端',去干校搞'斗批改'。达成整天破衣烂衫,蒋老师从家拿来衣服给他穿。"

就是在那时候,蒋阿姨与离开父母入"托管班"的四十多个孩子结下了深厚的友谊。

本来她也得去干校,行李卷都打好了,也与家人一一道了别,临出发,总理办公室传来口信,考虑年近 60 岁的钱学森同志所承担的特殊工作,蒋英同志留在北京。

她可以很舒服地呆在家里,但她挂念这些孩子,每天都到 3 号楼一层——"托管班"四十多个孩子的住宿地,她在这儿有一桌一床,有时也住在这里。

四十多个孩子集中到一起,女孩免不了叽叽喳喳,男孩呢弄不好就挥拳相向。那天楼道里大呼小叫,原来是那个"傻达成"给同屋男孩的蛐蛐罐里泡了尿。刚把蛐蛐罐的事解决完,又发现写作业的办公桌、大小抽屉都被他

同时"作了案"……仅是保障这些孩子的安全、督促作业、开家长会就让柳玲娣、刘玉花、马淑娥三位老姐妹忙得不亦乐乎,所以增长知识、培养兴趣这些孩子成长过程中不可缺少的项目,就由蒋阿姨一手包办了。

她买来军棋、跳棋、象棋、小人书、科普书和花手绢,分发给孩子们——花自己的钱,办该办的事,她一点都不在乎。女孩的衣服破了,她用花手绢补上,男孩的毛衣露了胳膊肘,她一针一线给织上,有时她把一大包脏衣服带回家去洗,有时她又把一摞儿子永刚、女儿永真穿小的衣服拿到班上来,家境困难者优先……

孩子们每天写完作业,就缠在她身边,借书、听故事、学英语、学钢琴,她从心里喜欢好学的孩子,对好学的孩子往往也多用一份心思。譬如女孩王玉,在此期间跟她学了两年多钢琴,王玉父母从干校返回后,又学了 6 年小提琴、王玉的父亲说:"我们鼓励她搞艺术,这样就可以不去上山下乡了,怕她受那份罪。"可蒋阿姨却以音乐家的直觉认为王玉不适合搞艺术,她脑瓜灵,小时候玩扑克就长于"算牌",逻辑思维好,建议她学理工,还把她带到家里"请伯伯出主意"。后来钱学森先生建议她学计算机,报考长沙工学院计算机系,后又师从著名的计算机专家陈火旺。目前王玉正在美国攻读博士后。念及此,王玉的父亲十分感慨:"我们做父母的都看不到这一步。"那次听说蒋老师因心脏病住进医院,王玉的母亲方友淑淌着眼泪托人捎话:千万千万安心养病。

淌着眼泪说起这段经历的还有从图书馆退休的刘珍碧老师,她说下干校时女儿才 10 岁,她心里真是割舍不下,"非常非常痛苦",至今还觉得对不起孩子,"有时她闹脾气我都容忍"。一去三年,重新回到女儿身边后,她发现有两件衣服女儿特别喜欢穿,因为是"蒋阿姨给我补的"。还有一次到同事家串门,女儿居然坐到人家的钢琴前,一曲《国际歌》让做母亲的感到惊讶,虽然弹得有些幼稚,也不很流畅,但很有气势,像那么回事。问谁教的,女儿说"是蒋阿姨","那时我心里的那份感动啊……"

刘老师认为女儿后来能走上艺术道路,归功于蒋阿姨的"艺术启蒙"。学小提琴、报考电影学院又到意大利学习导演专业,"从意大利留学回来女儿问我'蒋阿姨在哪儿?真想见见她"——这个对蒋阿姨有着深厚感情的女孩,就是目前活跃在中国影坛,以《找乐》一片获日本东京国际电影节金奖,

以《民警故事》获意大利都灵电影节最佳影片奖的著名女导演宁瀛。

“她这么一个大权威的夫人给咱们孩子补衣服”；

“她这么一个大教授给咱们看孩子”……

这些话，在音乐学院、在那四十多个孩子的父母、亲属间口耳相传，最后概括成一句话：“蒋老师可是个好人啊！”

中国人在表达对一个人的认同、赞赏时，用的常常是这句简单的话语：是个好人！

那正是，一个音乐家生命的底色，亦是音乐的最高境界——人格的完成。

小客厅：讲述一位“的哥”感恩的故事

钱家的客厅，二十来平方米，一架钢琴占去四分之一的面积。据说房间不久前装修过，蒋英老师对装修的“指示”是：“不搞豪华，要像教授的家”——于是处处节约，地板还是旧的，有些地方已经磨掉黄漆露出白色的木茬，斑斑驳驳，仿佛在企盼着“新生”。

就在这间客厅，江泽民主席看望过钱学森老人，向他祝寿。一张江主席满面笑容地和左耳挂助听器的钱老促膝交谈的照片就摆放在书柜里。

就在这间客厅，正值英年的钱学森先生曾多次召集研制导弹、卫星的技术负责人讨论方案，研究课题，中国导弹发射、卫星上天的设计图，有些是在这里描绘的。

这间客厅还是声乐家的琴房。1984 年蒋英老师退休后，到这间房里求教、上课的学生源源不断，从这间客厅走出了一位又一位国际声乐比赛的获奖者。

到这间客厅来的有大学老师、音乐学院教授、部队首长……那天，一位三十多岁、身材健壮、皮肤黝黑的小伙子说，在迈进这个门的所有人当中，我是档次最低的一个，但是——他大喘气，但是我从来没有感到过紧张、不安什么的。

他总是把那辆红色的夏利出租车停在大门外，和警卫打过招呼就进来了，从不事先电话预约，这样，感觉像一家人。

他真的觉得母亲在世时,蒋阿姨对母亲、对家庭的关心、帮助,"一家人也不过如此。"

这是被他称为"有天地之别"的两个家庭间,一段真挚友谊的故事。

马勇的父亲也是司机,在音乐学院司机班工作,母亲马淑娥在托管班时和蒋阿姨共过事,若说有什么特别之处,那就是马勇的父亲和钱老的司机曾是部队战友,这在一般人看来:"九杆子也打不着。"

可从听说马淑娥患癌症那天起,这蒋阿姨就坐不住了:刚刚 42 岁,老大马勇才十几岁,下面还有马萍、马秀两个女孩。于是她隔三差五到马家去,那时马家住在院里那几排低矮的小平房里,陪她聊天,给她开心,"有时天晚了,我爸说开车送她回家,蒋阿姨说车是公家的,我坐公共汽车回去。"马勇说那时他还小,也粗心,他知道蒋阿姨每次来都买水果、营养品,有一次还带来几盆花,给过钱,"数目我就不清楚了。"

不过蒋阿姨把电视搬来这件事他清楚:

"那是一台 17 英寸的黑白电视,电子管的,七十年代初期,"小 9 寸"还没出来呢,我们全院也没有一两家有电视的。人家送电视就是让我妈开心、高兴。我妈也特别感动,中秋节了,打发我到蒋阿姨家去,几个苹果两块月饼,三五块钱的事,就表示我们没忘人家的好。"

马勇说,一台 17 英寸电视机,今天看来,"一般般啦,"可在当时是多重的一份礼啊!母亲去世后,父亲前几年也病故了,两个妹妹大学毕业后都去了国外,"马萍马秀打电话常嘱咐我:'有空去看看蒋阿姨'"——马勇的母亲去世前留下的遗嘱里有这句话。

马勇说那次他又去了,是傍晚,蒋阿姨正要陪钱老散步,"一看我来了,就让别人去陪钱老,把我请进客厅聊天叙旧。我觉得有些不合适,蒋阿姨说你是客人应该陪你。他们丝毫没有高低贵贱之分,没有三六九等。"马勇结婚时蒋阿姨送来重礼,"不知道她从哪儿听到的信儿。"

让马勇感到困惑的是:一方面他总想"找机会报恩",同时又觉得"没有我能帮上的忙",他一样样地想过:汽车人家有;力气活有人干……最后他认为自己只有一条路好走:常去看看,以情回报。

老太太因心脏病住院,医院管理很严,"我愣进去了,当时我买了一束花,又觉得有些寒酸,可蒋阿姨看到我以后那个高兴劲儿,我一点不舒服的

感觉都没有了,就觉得这花买得正好。"

对一个普通工人家庭和一个大科学家家庭之间的这种关系,马勇说:"如果不是发生在我身上,我根本不相信,会认为是不可能的事。"

与这位"档次最低"的出租司机的交往和友谊,没有降低蒋英教授的身份,反而赢得了更真诚的尊重,马勇说从中可以看出:"蒋阿姨他们是高境界的人。"

爱学生:有人赞誉有人忧

看着曲目单上那些洋歌的名称,姜咏倒吸口凉气:共 31 首,自己会唱的只有 4 首,距报名截止还有 2 天,距正式比赛还有 1 个月,"不行不行,蒋老师,这个比赛我参加不了",姜咏一脸的斩钉截铁,蒋老师摊开笔记本:"咱们算算,有些歌我教你,'自选项'还可以调配一下","不行不行,蒋老师,这歌曲有英文的、意大利文的,还有法文的,这么多歌词我背不下来","我老太太跟你一块背!我背得下来你还背不下来吗?""不行不行,蒋老师,词背下来了也唱下来了,拿不回奖我也抬不起头。""姜咏,我最不喜欢你这样,参加比赛不是为了你自己,你代表的是国家,所以你去也得去,不去也得去,就当我拿枪逼着你去……"

这是 11 年前,姜咏参加比利时伊丽莎白女皇声乐比赛前的一幕,那次蒋老师一改平日的慈祥,变得严厉且"没商量",这时她不是用花手绢为孩子补衣服的蒋阿姨,不是向马勇母亲嘘寒问暖的菩萨心,而是含威的将军、怒目的金刚,她的性格张力,性格中的刚性、气度非比寻常地表现出来……

在蒋老师的坚持下,姜咏填表参赛,一番"恶补",几过关隘,终于杀进决赛,决赛取 12 名获奖者,她排第 11 位,回国那天年近 70 岁的蒋老师到机场迎接她。

这"逼"出来的成绩使她获得日内瓦音乐学院的奖学金,得以入学深造。1989 年在日内瓦国际声乐比赛中荣获一等奖,1990 年在法国再次获奖……梅纽因大师称赞她有"天使的声音。"

蒋英老师把一个原本缺乏自信只想当个"合唱队员"的姜咏锻造成国际乐坛知名的抒情花腔女高音歌唱家,使她超越了自我。蒋老师用自己的肩



膀托举她上了一个平台，平台上有她从未领略过的风光——这也构成了蒋老师晚年幸福的重要内容。

对事关国家民族荣誉的大名大利，她的手伸得长长的，这种把个体命运与国家命运结合在一起的信念，不是做出来的，是老一代艺术家的一种生命的自觉，没人逼她，她却要逼姜咏，并为此横眉立目，老当益壮——艺术没有国界，艺术家却有祖国，大艺术家无不与祖国悲喜与共。我们与之的差距常在于这样的眼界与襟怀。

对一己私利，蒋英老师却超然物外，她不收学生讲课费的奉献行为，在音乐界成为口碑。她的学生、中央音乐学院副教授赵登营说："我从1992年跟随蒋老师学习，每周半天，她没收过我一分钱讲课费。除此，她还要自掏腰包，进行资料准备、磁带转录，发给我们。'只要你真心学，我就义务教'，跟她唱歌不仅受艺术熏陶，更是心灵的净化。艺术家最需要品质，因为人品不是游离于作品之外的。"——纵使收取讲课费，那钱肯定是有数的，如今她却能收获学生发自内心的真情、仰慕，这是无价之宝，从这个角度说，她是一个大索取者。

男高音歌唱家赵登峰，原是部队演员，仅有津贴，两次投考汉堡歌剧中心，"每次都要住一个多月，是蒋老师在经济上给我帮助。她知道游子思乡的滋味，常把我在国内的儿子的情况告诉我，她知道什么是我最需要的，这点我的母亲都很难做到，她爱学生是有名的……"

在一片赞誉声中，亦有不同声音泛起，譬如她的好朋友郭代昭教授，郭老师认为她是个工作狂，"上课不要命，七八十岁的人一上就半天，学生在时全力支撑，学生一去颓然倒下，常常头痛得要命。"

于是，在那次研讨会上，吴天球先生用他"气死音箱"的声音说道："希望蒋英老师能落后些，人也太瘦，不宜拼命。"

伉俪曲：人间难得几回闻

中央音乐学院的一位中年女教师，站在大厅的展板前端详着蒋英老师与钱先生的一张合照，轻声赞叹："这是多让人羡慕的一对儿呀！"

钱先生喜音乐，在上海交大读书时是小号手，对音乐和音乐家妻子的



“妙用”，他有过一段著名的论述：“是她给我介绍了这些音乐艺术，这些艺术里所包含的诗情画意和对人生的深刻的理解，使得我丰富了对世界的认识，学会了艺术的广阔思维方法……所以我才能避免死心眼儿，避免机械唯物论。”

人们说这一对好伴侣，是艺术与科学结合的典范。

他们具有相同的精神品质。

譬如个性，钱先生最富个性色彩的一句话是在美国跟大鼻子说的：“我中国跟你美国不能比，但是我钱学森这个中国人论单个、人比人，就要跟你们比赛。”“单练”的结果是他的导师、世界闻名的工程力学和航空技术的权威冯·卡门“服了”，他对行将回国的钱先生说：“你现在在学术上已经超过了我”……据说直到今天加州理工学院的中国留学生还把钱先生这句掷地有声的“名言”奉为经典。

蒋英老师的个性突出地表现在她不喜欢别人称呼、更不以此自居的“钱学森夫人”：“我自己就是艺术家、声乐教授”。

尽管有好几次迁居到“部长楼”、“将军楼”的机会，他们却主动放弃了，至今还住在已经住了40年的老楼里，是那种外部用水泥横几匝竖几匝“捆绑”着的红砖楼。人们的印象中，钱先生总是穿“解放军的绿裤子”，蓝色或灰色上装，蒋英老师的居家服，有时还要“针线串联”，他们和许多家庭的老人一样，有时要把儿女淘汰的衣服“拣着穿”。房间里无处不在的是书柜，据说楼上楼下林林总总40来个。这个家不以珠宝为宝，看重知识、学问和实力，88岁时的钱先生仍然手不释卷。

以俭朴为美外，他们还以助人为乐为美。那次听说一位为钱先生治过病的医生家中失火，蒋英老师立即凑足了5000元：“房子烧了，家具烧了，可人总得吃饭，拿这钱买点锅碗瓢盆吧”，——完全一副“自家”心态。

音乐学院来人办事，无意中提起司机边师傅36岁的儿子突发心肌梗塞，住院手术需10万元押金，蒋阿姨想起那不就是托管班的铁蛋吗?! 二话没说把5000元装进纸袋托来人转交边师傅：“给他就是了，别说我名字”……

东捐西献，帮人济困，夫妇俩十分默契。

譬如蒋英老师告诉丈夫，谁谁有困难了我给送了多少多少钱，钱先生这



边点头同意，绝对没意见。

再譬如蒋英老师说完讲课费的事，钱先生发言："你做得对，不应该收钱，学生求学阶段哪有什么钱啊。"

这伉俪情深旁人亦明，那次蒋英老师心脏手术前的会诊，国防科工委来了两位少将，部队如此重视的理由是："老太太如果不行了，老头儿也就完了……"

那是生命共同体。

一对佳侣一世情缘，尤为令人赞叹的是，他们是各自事业的两位巨人：一位致力于外层空间的开发，与浩瀚太空对话，在茫茫宇宙中神极八骛思接千载；另一位则以丹田之气、人籁之音，让那美妙歌声在广袤大地上传唱，悠悠渺渺，生生不已……

这是怎样的天上人间！

人生如此，夫复何求。

（原载1999年7月31日《北京青年报》）



［Ｇｅｎｅｒａｌ Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝人民科学家钱学森
作者＝
页数＝２２７
ＳＳ号＝０
出版日期＝
Ｖｓｓ号＝９８８１１８２９

目　　录